

電子放出素子

発明の背景

発明の分野：

- 5 本発明は、エミッタとなる物質に形成された第1の電極と第2の電極とを有する電子放出素子に関する。

関連する技術の記述：

- 近時、電子放出素子は、カソード電極及びアノード電極を有し、フィールドエ
ミッションディスプレイ（FED）やバックライトのような種々のアプリケーシ
10 ョンに適用されている。FEDに適用する場合、複数の電子放出素子を二次元的
に配列し、これら電子放出素子に対する複数の蛍光体を、所定の間隔をもってそ
れぞれ配置するようにしている。

- この電子放出素子の従来例としては、例えば以下の文献1～5があるが、いず
れもエミッタとなる物質に誘電体を用いていないため、対向電極間にフォーミン
15 グ加工もしくは微細加工が必要となったり、電子放出のために高電圧を印加しな
ければならず、また、パネル製作工程が複雑で製造コストが高くなるという問題
がある。

そこで、エミッタとなる物質を誘電体で構成することが考えられており、誘電
体からの電子放出に関して、以下の文献6～8にて諸説が述べられている。

- 20 [文献1]

特開平1-311533号公報

- [文献2]

特開平7-147131号公報

- [文献3]

- 25 特開2000 285801号公報

- [文献4]

特公昭46 20944号公報

- [文献5]

特公昭44-26125号公報

[文献6]

安岡、石井著「強誘電体陰極を用いたパルス電子源」応用物理第68巻第5号
、p546~550(1999)

[文献7]

- 5 V.F.Puchkarev, G.A.Mesyats, On the mechanism of emission from
the ferroelectric ceramic cathode, J.Appl.Phys., vol. 78, No.
9, 1 November, 1995, p. 5633-5637

[文献8]

- H.Riege, Electron emission from ferroelectrics - a review, Nucl.
10 Instr. and Meth. A340, p. 80-89 (1994)

ところで、従来の電子放出素子200においては、図39に示すように、エミ
ッタとなる物質(エミッタ部)202に上部電極204及び下部電極206を形
成する場合、特に、エミッタ部202上に上部電極204が密着して形成される
ことになる。電界集中ポイントは、上部電極204/エミッタ部202/真空の
15 3重点であるが、この場合、上部電極204の周縁部分が該当する。

しかしながら、上部電極204の周縁部分がエミッタ部202上に密着されて
いることから、電界集中の度合いが小さく、電子を放出するに必要なエネルギー
が小さいという問題がある。また、電子放出箇所も上部電極204の周縁部分に
限られることから、全体の電子放出特性にばらつきが生じ、電子放出の制御が困
20 難になると共に、電子放出効率が低いという問題もある。

発明の概要

本発明はこのような課題を考慮してなされたものであり、高い電界集中を容易
に発生させることができ、しかも、電子放出箇所を多くすることができ、電子放
25 出について高出力、高効率を図ることができ、低電圧駆動も可能な電子放出素子
を提供することを目的とする。

また、本発明の他の目的は、複数の画素に応じて配列された複数の電子放出素
子を有し、各電子放出素子からの電子放出によって画像表示を行うディスプレイ
に簡単に適用させることができる電子放出素子を提供することにある。

本発明に係る電子放出素子は、誘電体で構成されたエミッタとなる物質と、電子放出のための駆動電圧が印加される第1の電極及び第2の電極とを有し、前記第1の電極は、前記エミッタとなる物質の第1の面に形成され、前記第2の電極は、前記エミッタとなる物質の第2の面に形成され、少なくとも前記第1の電極は、前記エミッタとなる物質が露出される複数の貫通部を有し、前記第1の電極のうち、前記貫通部の周部における前記エミッタとなる物質と対向する面が、前記エミッタとなる物質から離開していることを特徴とする。

10 先ず、第1の電極と第2の電極との間に駆動電圧が印加される。この駆動電圧は、例えば、パルス電圧あるいは交流電圧のように、時間の経過に伴って、基準電圧（例えば0 V）よりも高い又は低い電圧レベルから基準電圧よりも低い又は高い電圧レベルに急激に変化する電圧として定義される。

また、エミッタとなる物質の第1の面と第1の電極と該電子放出素子の周囲の媒質（例えば、真空）との接触箇所においてトリプルジャンクションが形成されている。ここで、トリプルジャンクションとは、第1の電極とエミッタとなる物質と真空との接触により形成される電界集中部として定義される。なお、前記トリプルジャンクションには、第1の電極とエミッタとなる物質と真空が1つのポイントとして存在する3重点も含まれる。本発明では、トリプルジャンクションは、複数の貫通部の周部や第1の電極の周縁部に形成されることになる。従って、第1の電極と第2の電極との間に上述のような駆動電圧が印加されると、上記したトリプルジャンクションにおいて電界集中が発生する。

20 そして、基準電圧よりも高い又は低い電圧レベルの出力期間を第1の出力期間、基準電圧よりも低い又は高い電圧レベルの出力期間を第2の出力期間としたとき、先ず、第1の出力期間においては、上記したトリプルジャンクションにおいて例えば一方向への電界集中が発生し、例えばエミッタとなる物質のうち、第1の電極の貫通部に対応した部分や第1の電極の周縁部近傍の部分に電子が蓄積される。このとき、第1の電極が電子供給源として機能することになる。

25 次の第2の出力期間において、駆動電圧の電圧レベルが急減に変化すると、今度は、上記したトリプルジャンクションにおいて逆方向への電界集中が発生し、エミッタとなる物質のうち、前記電子が蓄積されていた部分から、貫通部を通じ

て電子が放出される。もちろん、第1の電極の外周部近傍からも電子が放出される。

また、別の電子放出方式においては、先ず、第1の出力期間において、電子放出のための準備（例えばエミッタとなる物質の一方向への分極等）が行われる。

- 5 次の第2の出力期間において、駆動電圧の電圧レベルが急減に変化すると、今度は、上記したトリプルジャンクションにおいて電界集中が発生し、この電界集中によって第1の電極から1次電子が放出され、エミッタとなる物質のうち、貫通部から露出する部分並びに第1の電極の外周部近傍に衝突することとなる。これによって、1次電子が衝突した部分から2次電子（1次電子の反射電子を含む）
10 が放出される。すなわち、第2の出力期間の初期段階において、前記貫通部並びに第1の電極の外周部近傍から2次電子が放出されることとなる。

- そして、この電子放出素子においては、先ず、第1の電極に複数の貫通部を形成したことから、各貫通部並びに第1の電極の外周部近傍から均等に電子が放出され、全体の電子放出特性のばらつきが低減し、電子放出の制御が容易になると
15 共に、電子放出効率が高くなる。

- また、本発明は、前記第1の電極のうち、前記貫通部の周部における前記エミッタとなる物質と対向する面と前記エミッタとなる物質との間にギャップが形成された形となることから、駆動電圧を印加した際に、該ギャップの部分において電界集中が発生し易くなる。これは、電子放出の高効率化につながり、駆動電圧
20 の低電圧化（低い電圧レベルでの電子放出）を実現させることができる。

- 上述したように、本発明は、前記第1の電極のうち、前記貫通部の周部における前記エミッタとなる物質と対向する面と前記エミッタとなる物質との間にギャップが形成されて、第1の電極における貫通部の周部が底状（フランジ状）となることから、ギャップの部分での電界集中が大きくなることも相俟って、前記
25 底状の部分（貫通部の周部）から電子がされ易くなる。これは、電子放出の高出力、高効率化につながり、駆動電圧の低電圧化を実現させることができる。また、エミッタとなる物質に蓄積された電子を放出させる方式や第1の電極からの1次電子をエミッタとなる物質に衝突させて2次電子を放出させる方式のいずれにしても、第1の電極における貫通部の周部がゲート電極（制御電極、フォーカス

電子レンズ等)として機能するので、放出電子の直進性を向上させることができる。これは、例えば電子放出素子を多数並べて例えばディスプレイの電子源として構成した場合に、クロストークを低減する上で有利となる。

- 5 このように、本発明においては、高い電界集中を容易に発生させることができ、しかも、電子放出箇所を多くすることができ、電子放出について高出力、高効率を図ることができ、低電圧駆動(低消費電力)も可能となる。

そして、前記構成において、前記エミッタとなる物質の少なくとも前記第1の面は、誘電体の粒界による凹凸が形成され、前記第1の電極は、前記誘電体の粒界における凹部に対応した部分に前記貫通部が形成されるようにしてもよい。

- 10 これにより、前記第1の電極のうち、前記貫通部の周部における前記エミッタとなる物質と対向する面が、前記エミッタとなる物質から離間した構成、すなわち、前記貫通部の周部における前記エミッタとなる物質と対向する面と前記エミッタとなる物質との間にギャップが形成された構成を簡単に実現させることができる。

- 15 また、前記構成において、前記エミッタとなる物質の前記第1の面と、前記第1の電極のうち、前記貫通部の周部における前記エミッタとなる物質と対向する面とのなす角の最大角度 θ は、 $1^{\circ} \leq \theta \leq 60^{\circ}$ であることが好ましい。また、前記構成において、前記エミッタとなる物質の前記第1の面と、前記第1の電極のうち、前記貫通部の周部における前記エミッタとなる物質と対向する面との間の鉛直方向に沿った最大間隔 d が、 $0 \mu\text{m} < d \leq 10 \mu\text{m}$ であることが好ましい。
- 20 これらの構成により、ギャップの部分での電界集中の度合いをより大きくすることができ、電子放出についての高出力、高効率、並びに駆動電圧の低電圧化を効率よく図ることができる。

- 25 また、前記構成において、前記エミッタとなる物質の前記第1の面のうち、前記貫通部と対応する部分にフローティング電極が存在していてもよい。この場合、フローティング電極も電子供給源となることから、電子の放出段階(上述した第2の出力期間)において、多数の電子を貫通部を通じて外部に放出させることができる。

また、前記構成において、前記貫通部は、孔であってもよい。エミッタとなる

物質のうち、第1の電極と第2の電極間に印加される駆動電圧に応じて分極が反転あるいは変化する部分は、第1の電極が形成されている直下の部分（第1の部分）と、貫通部の内周から貫通部の内方に向かう領域に対応した部分（第2の部分）であり、特に、第2の部分は、駆動電圧のレベルや電界集中の度合いによって変化することになる。従って、本発明では、前記孔の平均径が、0.1 μm 以上、10 μm 以下であることが好ましい。この範囲であれば、貫通部を通じて放出される電子の放出分布にばらつきがほとんどなくなり、効率よく電子を放出することができる。

10 なお、孔の平均径が0.1 μm 未満の場合、電子を蓄積する領域が狭くなり、放出される電子の量が少なくなる。もちろん、孔を多数設けることも考えられるが、困難性を伴い、製造コストが高くなるという懸念がある。孔の平均径が10 μm を超えると、エミッタとなる物質の前記貫通部から露出した部分のうち、電子放出に寄与する部分（第2の部分）の割合（占有率）が小さくなり、電子の放出効率が低下する。

15 また、前記構成において、前記貫通部は、切欠きであってもよく、くし歯状の切欠きであってもよい。この場合、前記切欠きの平均幅は、0.1 μm 以上、10 μm 以下であることが好ましい。

20 また、前記構成において、前記貫通部は、任意の形状のスリットであってもよい。この場合、前記スリットの平均幅は、0.1 μm 以上、10 μm 以下であることが好ましい。

25 また、本発明に係る電子放出素子は、誘電体で構成されたエミッタとなる物質と、前記エミッタとなる物質の第1の面に接するように形成された第1の電極と、前記エミッタとなる物質の第2の面に接するように形成された第2の電極とを有し、少なくとも前記第1の電極は、前記エミッタとなる物質が露出される複数の貫通部を有し、電氣的な動作において、前記第1の電極と前記第2の電極間に、前記エミッタとなる物質によるコンデンサと、前記第1の電極に形成された前記複数の貫通部によって前記第1の電極と前記エミッタとなる物質との間に構成される複数のコンデンサの集合体とが形成されることを特徴とする。

つまり、前記貫通部の周部における前記エミッタとなる物質と対向する面と前

記エミッタとなる物質との間にギャップが形成され、これら複数のギャップによるコンデンサの集合体が形成されることになる。この場合、ギャップによるコンデンサの容量値が相対的に小さいものとなり、エミッタとなる物質によるコンデンサとの分圧から、印加電圧のほとんどはギャップに印加されることになり、各
5 ギャップにおいて、電子放出の高出力化が実現される。また、これらコンデンサの集合体はエミッタとなる物質によるコンデンサに直列接続された構造となる。従って、全体の容量値は、エミッタとなる物質によるコンデンサの容量値よりも小さくなる。このことから、電子放出は高出力であり、全体の消費電力は小さくなるという好ましい特性を得ることができる。

- 10 また、本発明に係る電子放出素子は、電子放出部を有する電子放出素子において、負電圧の印加によって電子の蓄積に伴う正電荷の量と負電荷の量が平衡な状態（第1の状態）に変化し、更なる電子の蓄積に伴って負電荷の量が正電荷の量よりも多い状態（第2の状態）に変化し、前記第2の状態から正電圧の印加によって電子の放出に伴う正電荷の量と負電荷の量が平衡な状態（第3の状態）に変
15 化し、更なる電子の放出に伴って正電荷の量が負電荷の量よりも多い状態に変化する場合に、前記第1の状態に変化するための印加電圧をV1、前記第3の状態に変化するための印加電圧をV2としたとき、

$$|V1| < |V2|$$

- の特性を有することを特徴とする。この場合、 $1.5 \times |V1| < |V2|$ であ
20 ってもよい。

これにより、複数の画素に応じて配列された複数の電子放出素子を有し、各電子放出素子からの電子放出によって画像表示を行うディスプレイに適用させることが容易になる。

- 例えば、1枚の画像の表示期間を1フレームとしたとき、該1フレーム内のあ
25 る期間に、全ての前記電子放出素子を走査して、発光対象の画素に対応した複数の電子放出素子にそれぞれ対応する画素の輝度レベルに応じた蓄積電圧を印加することにより、前記発光対象の画素に対応した複数の電子放出素子にそれぞれ対応する画素の輝度レベルに応じた量の電荷を蓄積させ、次の期間に、全ての電子放出素子に一定の放出電圧を印加して、前記発光対象の画素に対応した前記複数

の電子放出素子からそれぞれ対応する画素の輝度レベルに応じた量の電子を放出させて、前記発光対象の画素を発光させることが可能となる。

そして、この発明において、第1の状態における正電荷の量と電子の量の変化の割合を $\Delta Q1/\Delta V1$ 、第3の状態における正電荷の量と電子の量の変化の割合を $\Delta Q2/\Delta V2$ としたとき、 $(\Delta Q1/\Delta V1) > (\Delta Q2/\Delta V2)$ であってもよい。これらの関係により、電子が蓄積飽和状態となる電圧を $V3$ 、電子の放出が開始される電圧を $V4$ としたとき、 $1 \leq |V4|/|V3| \leq 1.5$ とする特性を得ることができる。

通常、例えば、電子放出素子をマトリックス状に配列して、水平走査期間に同期させて1行単位に電子放出素子を選択し、選択状態にある電子放出素子に対してそれぞれ画素の輝度レベルに応じた画素信号を供給するとき、非選択状態の画素にも、前記画素信号が供給されることになる。

非選択状態の電子放出素子が前記画素信号の影響を受けて例えば電子放出してしまうと、表示画像の画質の劣化やコントラストの低下を招くという問題がある。

しかし、本発明では、上述した特性を有するため、選択状態の電子放出素子に供給される画素信号の電圧レベルを、基準電圧から前記電圧 $V3$ までの任意の電圧とし、非選択状態の電子放出素子に対して、例えば画素信号の逆極性の信号が供給されるように設定するという簡単な電圧関係にしても、非選択状態の画素が、選択状態の画素への信号によって影響を受けることなく、各画素でのメモリ効果を実現でき、高輝度、高コントラスト化を図ることができる。

また、本発明に係る電子放出素子は、誘電体で構成されたエミッタとなる物質と、電子放出のための駆動電圧が印加される第1の電極及び第2の電極とを有する電子放出素子において、前記第1の電極と前記第2の電極間に対する一方向への電圧の印加によって、前記エミッタとなる物質が一方向に分極された状態から分極が反転した状態に変化する電圧を第1の抗電圧 $v1$ とし、この状態から他方向への電圧の印加によって分極が再び前記一方向に変化する電圧を第2の抗電圧 $v2$ としたとき、 $v1 < 0$ 又は $v2 < 0$ であって、 $|v1| < |v2|$ の特性を有することを特徴とする。この場合、 $1.5 \times |v1| < |v2|$ であってもよ

い。

また、前記第1の抗電圧を印加した際における分極の変化の割合を $\Delta q 1 / \Delta v 1$ 、前記第2の抗電圧を印加した際における分極の変化の割合を $\Delta q 2 / \Delta v 2$ としたとき、 $(\Delta q 1 / \Delta v 1) > (\Delta q 2 / \Delta v 2)$ であってもよい。これらの関係により、電子が蓄積飽和状態となる電圧を $v 3$ 、電子の放出が開始される電圧を $v 4$ としたとき、 $1 \leq |v 4| / |v 3| \leq 1.5$ とする特性を得ることができる。

従って、この発明においても、複数の画素に応じて配列された複数の電子放出素子を有し、各電子放出素子からの電子放出によって画像表示を行うディスプレイに適用させることが容易になる。

しかも、非選択状態の画素が、選択状態の画素への信号によって影響を受けることなく、各画素でのメモリ効果を実現でき、高輝度、高コントラスト化を図ることができる。

以上説明したように、本発明に係る電子放出素子によれば、高い電界集中を容易に発生させることができ、しかも、電子放出箇所を多くすることができ、電子放出について高出力、高効率を図ることができ、低電圧駆動（低消費電力）も可能となる。

また、本発明に係る電子放出素子によれば、複数の画素に応じて配列された複数の電子放出素子を有し、各電子放出素子からの電子放出によって画像表示を行うディスプレイに簡単に適用させることができる。

添付した図面と協同する次の好適な実施の形態例の説明から、上記の目的及び他の目的、特徴及び利点がより明らかになるであろう。

図面の簡単な説明

図1は、第1の実施の形態に係る電子放出素子を一部省略して示す断面図である。

図2は、第1の実施の形態に係る電子放出素子の要部を拡大して示す断面図である。

図3は、上部電極に形成された貫通部の形状の例を示す平面図である。

図4は、第1の電子放出方式での駆動電圧の電圧波形を示す図である。

図5は、第1の電子放出方式の第2の出力期間での電子放出の様子を示す説明図である。

図6は、第2の電子放出方式での駆動電圧の電圧波形を示す図である。

5 図7は、第2の電子放出方式の第2の出力期間での電子放出の様子を示す説明図である。

図8は、上部電極の底部の断面形状の一例を示す図である。

図9は、上部電極の底部の断面形状の他の例を示す図である。

図10は、上部電極の底部の断面形状のさらに他の例を示す図である。

10 図11は、上部電極と下部電極間に接続された各種コンデンサの接続状態を示す等価回路図である。

図12は、上部電極と下部電極間に接続された各種コンデンサの容量計算を説明するための図である。

図13は、第1の実施の形態に係る電子放出素子の第1の変形例を一部省略して示す平面図である。

15 図14は、第1の実施の形態に係る電子放出素子の第2の変形例を一部省略して示す平面図である。

図15は、第1の実施の形態に係る電子放出素子の第3の変形例を一部省略して示す平面図である。

20 図16は、第1の実施の形態に係る電子放出素子の電圧-電荷量特性（電圧-分極量特性）を示す図である。

図17Aは、図16のポイントp1での状態を示す説明図である。

図17Bは、図16のポイントp2での状態を示す説明図である。

図17Cは、図16のポイントp2からポイントp3に至るまでの状態を示す説明図である。

25 図18Aは、図16のポイントp3からポイントp4に至るまでの状態を示す説明図である。

図18Bは、図16のポイントp4に至る直前の状態を示す説明図である。

図18Cは、図16のポイントp4からポイントp6に至るまでの状態を示す

説明図である。

図19は、第1の実施の形態に係る電子放出素子を使用して構成したディスプレイの表示部と駆動回路を示すブロック図である。

5 図20A～図20Cは、振幅変調回路によるパルス信号の振幅変調を示す波形図である。

図21は、変形例に係る信号供給回路を示すブロック図である。

図22A～図22Cは、パルス幅変調回路によるパルス信号のパルス幅変調を示す波形図である。

10 図23Aは、図20A又は図22Aにおける電圧 V_{s1} が印加されたときのヒステリシス曲線を示す図である。

図23Bは、図20B又は図22Bにおける電圧 V_{sm} が印加されたときのヒステリシス曲線を示す図である。

図23Cは、図20C又は図22Cにおける電圧 V_{sh} が印加されたときのヒステリシス曲線を示す図である。

15 図24は、上部電極上へのコレクタ電極、蛍光体及び透明板の1つの配置例を示す構成図である。

図25は、上部電極上へのコレクタ電極、蛍光体及び透明板の他の配置例を示す構成図である。

20 図26Aは、第1の実験例（電子放出素子の電子の放出状態をみた実験）において使用した書き込みパルスと点灯パルスの波形を示す図である。

図26Bは、第1の実験例において、電子放出素子からの電子放出の状態を受光素子の検出電圧波形で示す図である。

図27は、第2～第4の実験例で使用した書き込みパルスと点灯パルスの波形を示す図である。

25 図28は、第2の実験例（電子放出素子の電子の放出量が書き込みパルスの振幅によってどのように変化するかをみた実験）の結果を示す特性図である。

図29は、第3の実験例（電子放出素子の電子の放出量が点灯パルスの振幅によってどのように変化するかをみた実験）の結果を示す特性図である。

図30は、第4の実験例（電子放出素子の電子の放出量がコレクタ電圧のレベ

ルによってどのように変化するかをみた実験)の結果を示す特性図である。

図31は、ディスプレイの駆動方法の一例を示すタイミングチャートである。

図32は、図31に示す駆動方法での印加電圧関係を示す表図である。

5 図33は、第2の実施の形態に係る電子放出素子を一部省略して示す断面図である。

図34は、第2の実施の形態に係る電子放出素子の第1の変形例を一部省略して示す断面図である。

図35は、第2の実施の形態に係る電子放出素子の第2の変形例を一部省略して示す断面図である。

10 図36は、第2の実施の形態に係る電子放出素子の第3の変形例を一部省略して示す断面図である。

図37は、第3の実施の形態に係る電子放出素子を一部省略して示す断面図である。

15 図38は、第3の実施の形態に係る電子放出素子の第1の変形例を一部省略して示す断面図である。

図39は、従来例に係る電子放出素子を一部省略して示す断面図である。

好ましい実施の形態例の記述

20 以下、本発明に係る電子放出素子の実施の形態例を、図1～図38を参照しながら説明する。

まず、本実施の形態に係る電子放出装置は、ディスプレイとしての用途のほか、電子線照射装置、光源、LEDの代替用途、電子部品製造装置、電子回路部品に適用することができる。

25 電子線照射装置における電子線は、現在普及している紫外線照射装置における紫外線に比べ、高エネルギーで吸収性能に優れる。適用例としては、半導体装置では、ウェハーを重ねる際における絶縁膜を固化する用途、印刷の乾燥では、印刷インキをむらなく硬化する用途や、医療機器をパッケージに入れたまま殺菌する用途等がある。

光源としての用途は、高輝度、高効率仕様向けであって、例えば超高圧水銀ラ

ランプ等が使用されるプロジェクタの光源用途等がある。本実施の形態に係る電子放出装置を光源に適用した場合、小型化、長寿命、高速点灯、水銀フリーによる環境負荷低減という特徴を有する。

5 LEDの代替用途としては、屋内照明、自動車用ランプ、信号機等の面光源用途や、チップ光源、信号機、携帯電話向けの小型液晶ディスプレイのバックライト等がある。

電子部品製造装置の用途としては、電子ビーム蒸着装置等の成膜装置の電子ビーム源、プラズマCVD装置におけるプラズマ生成用（ガス等の活性化用）電子源、ガス分解用途の電子源等がある。また、テラHz駆動の高速スイッチング素子、大電流出力素子といった真空マイクロデバイス用途もある。その他、プリンタ用部品、つまり、蛍光体との組合せにより感光ドラムを感光させる発光デバイスや、誘電体を帯電させるための電子源としても好ましく用いられる。

電子回路部品としては、大電流出力化、高増幅率化が可能であることから、スイッチ、リレー、ダイオード等のデジタル素子、オペアンプ等のアナログ素子への用途がある。

15 10 20 25 30 35 40 45 50 55 60 65 70 75 80 85 90 95 100 105 110 115 120 125 130 135 140 145 150 155 160 165 170 175 180 185 190 195 200 205 210 215 220 225 230 235 240 245 250 255 260 265 270 275 280 285 290 295 300 305 310 315 320 325 330 335 340 345 350 355 360 365 370 375 380 385 390 395 400 405 410 415 420 425 430 435 440 445 450 455 460 465 470 475 480 485 490 495 500 505 510 515 520 525 530 535 540 545 550 555 560 565 570 575 580 585 590 595 600 605 610 615 620 625 630 635 640 645 650 655 660 665 670 675 680 685 690 695 700 705 710 715 720 725 730 735 740 745 750 755 760 765 770 775 780 785 790 795 800 805 810 815 820 825 830 835 840 845 850 855 860 865 870 875 880 885 890 895 900 905 910 915 920 925 930 935 940 945 950 955 960 965 970 975 980 985 990 995 1000 1005 1010 1015 1020 1025 1030 1035 1040 1045 1050 1055 1060 1065 1070 1075 1080 1085 1090 1095 1100 1105 1110 1115 1120 1125 1130 1135 1140 1145 1150 1155 1160 1165 1170 1175 1180 1185 1190 1195 1200 1205 1210 1215 1220 1225 1230 1235 1240 1245 1250 1255 1260 1265 1270 1275 1280 1285 1290 1295 1300 1305 1310 1315 1320 1325 1330 1335 1340 1345 1350 1355 1360 1365 1370 1375 1380 1385 1390 1395 1400 1405 1410 1415 1420 1425 1430 1435 1440 1445 1450 1455 1460 1465 1470 1475 1480 1485 1490 1495 1500 1505 1510 1515 1520 1525 1530 1535 1540 1545 1550 1555 1560 1565 1570 1575 1580 1585 1590 1595 1600 1605 1610 1615 1620 1625 1630 1635 1640 1645 1650 1655 1660 1665 1670 1675 1680 1685 1690 1695 1700 1705 1710 1715 1720 1725 1730 1735 1740 1745 1750 1755 1760 1765 1770 1775 1780 1785 1790 1795 1800 1805 1810 1815 1820 1825 1830 1835 1840 1845 1850 1855 1860 1865 1870 1875 1880 1885 1890 1895 1900 1905 1910 1915 1920 1925 1930 1935 1940 1945 1950 1955 1960 1965 1970 1975 1980 1985 1990 1995 2000 2005 2010 2015 2020 2025 2030 2035 2040 2045 2050 2055 2060 2065 2070 2075 2080 2085 2090 2095 2100 2105 2110 2115 2120 2125 2130 2135 2140 2145 2150 2155 2160 2165 2170 2175 2180 2185 2190 2195 2200 2205 2210 2215 2220 2225 2230 2235 2240 2245 2250 2255 2260 2265 2270 2275 2280 2285 2290 2295 2300 2305 2310 2315 2320 2325 2330 2335 2340 2345 2350 2355 2360 2365 2370 2375 2380 2385 2390 2395 2400 2405 2410 2415 2420 2425 2430 2435 2440 2445 2450 2455 2460 2465 2470 2475 2480 2485 2490 2495 2500 2505 2510 2515 2520 2525 2530 2535 2540 2545 2550 2555 2560 2565 2570 2575 2580 2585 2590 2595 2600 2605 2610 2615 2620 2625 2630 2635 2640 2645 2650 2655 2660 2665 2670 2675 2680 2685 2690 2695 2700 2705 2710 2715 2720 2725 2730 2735 2740 2745 2750 2755 2760 2765 2770 2775 2780 2785 2790 2795 2800 2805 2810 2815 2820 2825 2830 2835 2840 2845 2850 2855 2860 2865 2870 2875 2880 2885 2890 2895 2900 2905 2910 2915 2920 2925 2930 2935 2940 2945 2950 2955 2960 2965 2970 2975 2980 2985 2990 2995 3000 3005 3010 3015 3020 3025 3030 3035 3040 3045 3050 3055 3060 3065 3070 3075 3080 3085 3090 3095 3100 3105 3110 3115 3120 3125 3130 3135 3140 3145 3150 3155 3160 3165 3170 3175 3180 3185 3190 3195 3200 3205 3210 3215 3220 3225 3230 3235 3240 3245 3250 3255 3260 3265 3270 3275 3280 3285 3290 3295 3300 3305 3310 3315 3320 3325 3330 3335 3340 3345 3350 3355 3360 3365 3370 3375 3380 3385 3390 3395 3400 3405 3410 3415 3420 3425 3430 3435 3440 3445 3450 3455 3460 3465 3470 3475 3480 3485 3490 3495 3500 3505 3510 3515 3520 3525 3530 3535 3540 3545 3550 3555 3560 3565 3570 3575 3580 3585 3590 3595 3600 3605 3610 3615 3620 3625 3630 3635 3640 3645 3650 3655 3660 3665 3670 3675 3680 3685 3690 3695 3700 3705 3710 3715 3720 3725 3730 3735 3740 3745 3750 3755 3760 3765 3770 3775 3780 3785 3790 3795 3800 3805 3810 3815 3820 3825 3830 3835 3840 3845 3850 3855 3860 3865 3870 3875 3880 3885 3890 3895 3900 3905 3910 3915 3920 3925 3930 3935 3940 3945 3950 3955 3960 3965 3970 3975 3980 3985 3990 3995 4000 4005 4010 4015 4020 4025 4030 4035 4040 4045 4050 4055 4060 4065 4070 4075 4080 4085 4090 4095 4100 4105 4110 4115 4120 4125 4130 4135 4140 4145 4150 4155 4160 4165 4170 4175 4180 4185 4190 4195 4200 4205 4210 4215 4220 4225 4230 4235 4240 4245 4250 4255 4260 4265 4270 4275 4280 4285 4290 4295 4300 4305 4310 4315 4320 4325 4330 4335 4340 4345 4350 4355 4360 4365 4370 4375 4380 4385 4390 4395 4400 4405 4410 4415 4420 4425 4430 4435 4440 4445 4450 4455 4460 4465 4470 4475 4480 4485 4490 4495 4500 4505 4510 4515 4520 4525 4530 4535 4540 4545 4550 4555 4560 4565 4570 4575 4580 4585 4590 4595 4600 4605 4610 4615 4620 4625 4630 4635 4640 4645 4650 4655 4660 4665 4670 4675 4680 4685 4690 4695 4700 4705 4710 4715 4720 4725 4730 4735 4740 4745 4750 4755 4760 4765 4770 4775 4780 4785 4790 4795 4800 4805 4810 4815 4820 4825 4830 4835 4840 4845 4850 4855 4860 4865 4870 4875 4880 4885 4890 4895 4900 4905 4910 4915 4920 4925 4930 4935 4940 4945 4950 4955 4960 4965 4970 4975 4980 4985 4990 4995 5000 5005 5010 5015 5020 5025 5030 5035 5040 5045 5050 5055 5060 5065 5070 5075 5080 5085 5090 5095 5100 5105 5110 5115 5120 5125 5130 5135 5140 5145 5150 5155 5160 5165 5170 5175 5180 5185 5190 5195 5200 5205 5210 5215 5220 5225 5230 5235 5240 5245 5250 5255 5260 5265 5270 5275 5280 5285 5290 5295 5300 5305 5310 5315 5320 5325 5330 5335 5340 5345 5350 5355 5360 5365 5370 5375 5380 5385 5390 5395 5400 5405 5410 5415 5420 5425 5430 5435 5440 5445 5450 5455 5460 5465 5470 5475 5480 5485 5490 5495 5500 5505 5510 5515 5520 5525 5530 5535 5540 5545 5550 5555 5560 5565 5570 5575 5580 5585 5590 5595 5600 5605 5610 5615 5620 5625 5630 5635 5640 5645 5650 5655 5660 5665 5670 5675 5680 5685 5690 5695 5700 5705 5710 5715 5720 5725 5730 5735 5740 5745 5750 5755 5760 5765 5770 5775 5780 5785 5790 5795 5800 5805 5810 5815 5820 5825 5830 5835 5840 5845 5850 5855 5860 5865 5870 5875 5880 5885 5890 5895 5900 5905 5910 5915 5920 5925 5930 5935 5940 5945 5950 5955 5960 5965 5970 5975 5980 5985 5990 5995 6000 6005 6010 6015 6020 6025 6030 6035 6040 6045 6050 6055 6060 6065 6070 6075 6080 6085 6090 6095 6100 6105 6110 6115 6120 6125 6130 6135 6140 6145 6150 6155 6160 6165 6170 6175 6180 6185 6190 6195 6200 6205 6210 6215 6220 6225 6230 6235 6240 6245 6250 6255 6260 6265 6270 6275 6280 6285 6290 6295 6300 6305 6310 6315 6320 6325 6330 6335 6340 6345 6350 6355 6360 6365 6370 6375 6380 6385 6390 6395 6400 6405 6410 6415 6420 6425 6430 6435 6440 6445 6450 6455 6460 6465 6470 6475 6480 6485 6490 6495 6500 6505 6510 6515 6520 6525 6530 6535 6540 6545 6550 6555 6560 6565 6570 6575 6580 6585 6590 6595 6600 6605 6610 6615 6620 6625 6630 6635 6640 6645 6650 6655 6660 6665 6670 6675 6680 6685 6690 6695 6700 6705 6710 6715 6720 6725 6730 6735 6740 6745 6750 6755 6760 6765 6770 6775 6780 6785 6790 6795 6800 6805 6810 6815 6820 6825 6830 6835 6840 6845 6850 6855 6860 6865 6870 6875 6880 6885 6890 6895 6900 6905 6910 6915 6920 6925 6930 6935 6940 6945 6950 6955 6960 6965 6970 6975 6980 6985 6990 6995 7000 7005 7010 7015 7020 7025 7030 7035 7040 7045 7050 7055 7060 7065 7070 7075 7080 7085 7090 7095 7100 7105 7110 7115 7120 7125 7130 7135 7140 7145 7150 7155 7160 7165 7170 7175 7180 7185 7190 7195 7200 7205 7210 7215 7220 7225 7230 7235 7240 7245 7250 7255 7260 7265 7270 7275 7280 7285 7290 7295 7300 7305 7310 7315 7320 7325 7330 7335 7340 7345 7350 7355 7360 7365 7370 7375 7380 7385 7390 7395 7400 7405 7410 7415 7420 7425 7430 7435 7440 7445 7450 7455 7460 7465 7470 7475 7480 7485 7490 7495 7500 7505 7510 7515 7520 7525 7530 7535 7540 7545 7550 7555 7560 7565 7570 7575 7580 7585 7590 7595 7600 7605 7610 7615 7620 7625 7630 7635 7640 7645 7650 7655 7660 7665 7670 7675 7680 7685 7690 7695 7700 7705 7710 7715 7720 7725 7730 7735 7740 7745 7750 7755 7760 7765 7770 7775 7780 7785 7790 7795 7800 7805 7810 7815 7820 7825 7830 7835 7840 7845 7850 7855 7860 7865 7870 7875 7880 7885 7890 7895 7900 7905 7910 7915 7920 7925 7930 7935 7940 7945 7950 7955 7960 7965 7970 7975 7980 7985 7990 7995 8000 8005 8010 8015 8020 8025 8030 8035 8040 8045 8050 8055 8060 8065 8070 8075 8080 8085 8090 8095 8100 8105 8110 8115 8120 8125 8130 8135 8140 8145 8150 8155 8160 8165 8170 8175 8180 8185 8190 8195 8200 8205 8210 8215 8220 8225 8230 8235 8240 8245 8250 8255 8260 8265 8270 8275 8280 8285 8290 8295 8300 8305 8310 8315 8320 8325 8330 8335 8340 8345 8350 8355 8360 8365 8370 8375 8380 8385 8390 8395 8400 8405 8410 8415 8420 8425 8430 8435 8440 8445 8450 8455 8460 8465 8470 8475 8480 8485 8490 8495 8500 8505 8510 8515 8520 8525 8530 8535 8540 8545 8550 8555 8560 8565 8570 8575 8580 8585 8590 8595 8600 8605 8610 8615 8620 8625 8630 8635 8640 8645 8650 8655 8660 8665 8670 8675 8680 8685 8690 8695 8700 8705 8710 8715 8720 8725 8730 8735 8740 8745 8750 8755 8760 8765 8770 8775 8780 8785 8790 8795 8800 8805 8810 8815 8820 8825 8830 8835 8840 8845 8850 8855 8860 8865 8870 8875 8880 8885 8890 8895 8900 8905 8910 8915 8920 8925 8930 8935 8940 8945 8950 8955 8960 8965 8970 8975 8980 8985 8990 8995 9000 9005 9010 9015 9020 9025 9030 9035 9040 9045 9050 9055 9060 9065 9070 9075 9080 9085 9090 9095 9100 9105 9110 9115 9120 9125 9130 9135 9140 9145 9150 9155 9160 9165 9170 9175 9180 9185 9190 9195 9200 9205 9210 9215 9220 9225 9230 9235 9240 9245 9250 9255 9260 9265 9270 9275 9280 9285 9290 9295 9300 9305 9310 9315 9320 9325 9330 9335 9340 9345 9350 9355 9360 9365 9370 9375 9380 9385 9390 9395 9400 9405 9410 9415 9420 9425 9430 9435 9440 9445 9450 9455 9460 9465 9470 9475 9480 9485 9490 9495 9500 9505 9510 9515 9520 9525 9530 9535 9540 9545 9550 9555 9560 9565 9570 9575 9580 9585 9590 9595 9600 9605 9610 9615 9620 9625 9630 9635 9640 9645 9650 9655 9660 9665 9670 9675 9680 9685 9690 9695 9700 9705 9710 9715 9720 9725 9730 9735 9740 9745 9750 9755 9760 9765 9770 9775 9780 9785 9790 9795 9800 9805 9810 9815 9820 9825 9830 9835 9840 9845 9850 9855 9860 9865 9870 9875 9880 9885 9890 9895 9900 9905 9910 9915 9920 9925 9930 9935 9940 9945 9950 9955 9960 9965 9970 9975 9980 9985 9990 9995 10000 10005 10010 10015 10020 10025 10030 10035 10040 10045 10050 10055 10060 10065 10070 10075 10080 10085 10090 10095 10100 10105 10110 10115 10120 10125 10130 10135 10140 10145 10150 10155 10160 10165 10170 10175 10180 10185 10190 10195 10200 10205 10210 10215 10220 10225 10230 10235 10240 10245 10250 10255 10260 10265 10270 10275 10280 10285 10290 10295 10300 10305 10310 10315 10320 10325 10330 10335 10340 10345 10350 10355 10360 10365 10370 10375 10380 10385 10390 10395 10400 10405 10410 10415 10420 10425 10430 10435 10440 10445 10450 10455 10460 10465 10470 10475 10480 10485 10490 10495 10500 10505 10510 10515 10520 10525 10530 10535 10540 10545 10550 10555 10560 10565 10570 10575 10580 10585 10590 10595 10600 10605 10610 10615 10620 10625 10630 10635 10640 10645 10650 10655 10660 10665 10670 10675 10680 10685 10690 10695 10700 10705 10710 10715 10720 10725 10730 10735 10740 10745 10750 10755 10760 10765 10770 10775 10780 10785 10790 10795 10800 10805 10810 10815 10820 10825 10830 10835 10840 10845 10850 10855 10860 10865 10870 10875 10880 10885 10890 10895 10900 10905 10910 10915 10920 10925 10930 10935 10940 10945 10950 10955 10960 10965 10970 10975 10980 10985 10990 10995 11000 11005 11010 11015 11020 11025 11030 11035 11040 11045 11050 11055 11060 11065 11070 11075 11080 11085 11090 11095 11100 11105 11110 11115 11120 11125 11130 11135 11140 11145 11150 11155 11160 11165 11170 11175 11180 11185 11190 11195 11200 11205 11210 11215 11220 11225 11230 11235 11240 11245 11250 11255 11260 11265 11270 11275 11280 11285 11290 11295 11300 11305 11310 11315 11320 11325 11330 11335 11340 11345 11350 11355 11360 11365 11370 11375 11380 11385 11390 11395 11400 11405 11410 11415 11420 11425 11430 11435 11440 11445 11450 11455 11460 11465 11470 11475 11480 11485 11490 11495 11500 11505 11510 11515 11520 11525 11530 11535 11540 11545 11550 11555 11560 11565 11570 11575 11580 11585 11590 11595 11600 11605 11610 11615 11620 11625 11630 11635 11640 11645 11650 11655 11660 11665 11670 11675 11680 11685 11690 11695 11700 11705 11710 11715 11720 11725 11730 11735 11740 11745 11750 11755 11760 11765 11770 11775 11780 11785 11790 11795 11800 11805 11810 11815 11820 11

さらに、この第1の実施の形態では、図2に示すように、上部電極14のうち、貫通部20の周部26におけるエミッタ部12と対向する面26aが、エミッタ部12から離間している。つまり、上部電極14のうち、貫通部20の周部26におけるエミッタ部12と対向する面26aとエミッタ部12との間にギャップ28が形成され、上部電極14における貫通部20の周部26が底状（フランジ状）に形成された形となっている。従って、以下の説明では、「上部電極14の貫通部20の周部26」を「上部電極14の底部26」と記す。なお、図1、図2、図5、図7、図8～図10、図15の例では、誘電体の粒界の凹凸22の凸部30の断面を代表的に半円状で示してあるが、この形状に限るものではない

10

また、この第1の実施の形態では、上部電極14の厚み t を、 $0.01\mu\text{m} \leq t \leq 10\mu\text{m}$ とし、エミッタ部12の上面、すなわち、誘電体の粒界における凸部30の表面（凹部24の内壁面でもある）と、上部電極14の底部26の下面26aとのなす角の最大角度 θ を、 $1^\circ \leq \theta \leq 60^\circ$ としている。また、エミッタ部12の誘電体の粒界における凸部30の表面（凹部24の内壁面）と、上部電極14の底部26の下面26aとの間の鉛直方向に沿った最大間隔 d を、 $0\mu\text{m} < d \leq 10\mu\text{m}$ としている。

さらに、この第1の実施の形態では、貫通部20の形状、特に、図3に示すように、上面から見た形状は孔32の形状であって、例えば円形状、楕円形状、トラック状のように、曲線部分を含むものや、四角形や三角形のように多角形状のものがある。図3の例では、孔32の形状として円形状の場合を示している。

この場合、孔32の平均径は、 $0.1\mu\text{m}$ 以上、 $10\mu\text{m}$ 以下としている。この平均径は、孔32の中心を通るそれぞれ異なる複数の線分の長さの平均を示す。

ここで、各構成部材の材料等について説明する。エミッタ部12を構成する誘電体は、好適には、比誘電率が比較的高い、例えば1000以上の誘電体を採用することができる。このような誘電体としては、チタン酸バリウムのほかに、ジルコン酸鉛、マグネシウムニオブ酸鉛、ニッケルニオブ酸鉛、亜鉛ニオブ酸鉛、マンガンニオブ酸鉛、マグネシウムタンタル酸鉛、ニッケルタンタル酸鉛、アン

チモンスズ酸鉛、チタン酸鉛、マグネシウムタングステン酸鉛、コバルトニオブ酸鉛等、又はこれらの任意の組み合わせを含有するセラミックスや、主成分がこれらの化合物を50重量%以上含有するものや、前記セラミックスに対して、さらにランタン、カルシウム、ストロンチウム、モリブデン、タングステン、バリウム、ニオブ、亜鉛、ニッケル、マンガン等の酸化物、もしくはこれらのいずれかの組み合わせ、又は他の化合物を適切に添加したもの等を挙げることができる

例えば、マグネシウムニオブ酸鉛(PMN)とチタン酸鉛(PT)の2成分系 $n\text{PMN}-m\text{PT}$ (n, m をモル数比とする)においては、PMNのモル数比を大きくすると、キュリー点が下げられて、室温での比誘電率を大きくすることができる。

特に、 $n=0.85\sim 1.0$ 、 $m=1.0-n$ では比誘電率3000以上となり好ましい。例えば、 $n=0.91$ 、 $m=0.09$ では室温の比誘電率15000が得られ、 $n=0.95$ 、 $m=0.05$ では室温の比誘電率20000が得られる。

次に、マグネシウムニオブ酸鉛(PMN)、チタン酸鉛(PT)、ジルコン酸鉛(PZ)の3成分系では、PMNのモル数比を大きくするほかに、正方晶と擬立方晶又は正方晶と菱面体晶のモルフォトロピック相境界(MPB: Morphotropic Phase Boundary)付近の組成とすることが比誘電率を大きくするのに好ましい。

例えば、 $\text{PMN}:\text{PT}:\text{PZ}=0.375:0.375:0.25$ にて比誘電率5500、 $\text{PMN}:\text{PT}:\text{PZ}=0.5:0.375:0.125$ にて比誘電率4500となり、特に好ましい。さらに、絶縁性が確保できる範囲内でこれらの誘電体に白金のような金属を混入して、誘電率を向上させるのが好ましい。この場合、例えば、誘電体に白金を重量比で20%混入させるとよい。

また、エミッタ部12は、上述したように、圧電/電歪層や反強誘電体層等を用いることができるが、エミッタ部12として圧電/電歪層を用いる場合、該圧電/電歪層としては、例えば、ジルコン酸鉛、マグネシウムニオブ酸鉛、ニッケルニオブ酸鉛、亜鉛ニオブ酸鉛、マンガンニオブ酸鉛、マグネシウムタンタル酸鉛、ニッケルタンタル酸鉛、アンチモンスズ酸鉛、チタン酸鉛、チタン酸バリウム

ム、マグネシウムタングステン酸鉛、コバルトニオブ酸鉛等、又はこれらのいずれかの組み合わせを含有するセラミックスが挙げられる。

主成分がこれらの化合物を50重量%以上含有するものであってもよいことはいうまでもない。また、前記セラミックスのうち、ジルコン酸鉛を含有するセラミックスは、エミッタ部12を構成する圧電/電歪層の構成材料として最も使用頻度が高い。

また、圧電/電歪層をセラミックスにて構成する場合、前記セラミックスに、さらに、ランタン、カルシウム、ストロンチウム、モリブデン、タングステン、バリウム、ニオブ、亜鉛、ニッケル、マンガン等の酸化物、もしくはこれらのいずれかの組み合わせ、又は他の化合物を、適宜、添加したセラミックスを用いてもよい。また、前記セラミックスに SiO_2 、 CeO_2 、 $\text{Pb}_5\text{Ge}_3\text{O}_{11}$ もしくはこれらのいずれかの組み合わせを添加したセラミックスを用いてもよい。具体的には、PT-PZ-PMN系圧電材料に SiO_2 を0.2wt%、もしくは CeO_2 を0.1wt%、もしくは $\text{Pb}_5\text{Ge}_3\text{O}_{11}$ を1~2wt%添加した材料が好ましい。

例えば、マグネシウムニオブ酸鉛とジルコン酸鉛及びチタン酸鉛とからなる成分を主成分とし、さらにランタンやストロンチウムを含有するセラミックスを用いることが好ましい。

圧電/電歪層は、緻密であっても、多孔質であってもよく、多孔質の場合、その気孔率は40%以下であることが好ましい。

エミッタ部12として反強誘電体層を用いる場合、該反強誘電体層としては、ジルコン酸鉛を主成分とするもの、ジルコン酸鉛とスズ酸鉛とからなる成分を主成分とするもの、さらにはジルコン酸鉛に酸化ランタンを添加したもの、ジルコン酸鉛とスズ酸鉛とからなる成分に対してジルコン酸鉛やニオブ酸鉛を添加したものが望ましい。

また、この反強誘電体層は、多孔質であってもよく、多孔質の場合、その気孔率は30%以下であることが望ましい。

さらに、エミッタ部12にタンタル酸ビスマス酸ストロンチウム($\text{SrBi}_2\text{Ta}_2\text{O}_9$)を用いた場合、分極反転疲労が小さく好ましい。このような分極反転

疲労が小さい材料は、層状強誘電体化合物で、 $(\text{BiO}_2)^{2+}(\text{A}_{m-1}\text{B}_m\text{O}_{3m+1})^{2-}$ という一般式で表される。ここで、金属Aのイオンは、 Ca^{2+} 、 Sr^{2+} 、 Ba^{2+} 、 Pb^{2+} 、 Bi^{3+} 、 La^{3+} 等であり、金属Bのイオンは、 Ti^{4+} 、 Ta^{5+} 、 Nb^{5+} 等である。

- 5 また、圧電/電歪/反強誘電体セラミックスに、例えば鉛ホウケイ酸ガラス等のガラス成分や、他の低融点化合物（例えば酸化ビスマス等）を混ぜることで、焼成温度を下げるができる。

また、圧電/電歪/反強誘電体セラミックスで構成する場合、その形状はシート状の成形体、シート状の積層体、あるいは、これらを他の支持用基板に積層又

- 10 は接着したものであってもよい。

また、エミッタ部12に非鉛系の材料を使用する等により、エミッタ部12を融点もしくは蒸散温度の高い材料とすることで、電子もしくはイオンの衝突に対し損傷しにくくなる。

上部電極14は、焼成後に薄い膜が得られる有機金属ペーストが用いられる。

- 15 例えば白金レジネートペースト等の材料を用いることが好ましい。また、分極反転疲労を抑制する酸化物電極、例えば、酸化ルテニウム (RuO_2)、酸化イリジウム (IrO_2)、ルテニウム酸ストロンチウム (SrRuO_3)、 $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{CoO}_3$ （例えば $x=0.3$ や 0.5 ）、 $\text{La}_{1-x}\text{Ca}_x\text{MnO}_3$ （例えば $x=0.2$ ）、 $\text{La}_{1-x}\text{Ca}_x\text{Mn}_{1-y}\text{Co}_y\text{O}_3$ （例えば $x=0.2$ 、 $y=0.05$ ）

- 20 、もしくはこれらを例えば白金レジネートペーストに混ぜたものが好ましい。

上部電極14は、上記材料を用いて、スクリーン印刷、スプレー、コーティング、ディッピング、塗布、電気泳動法等の各種の厚膜形成法や、スパッタリング法、イオンビーム法、真空蒸着法、イオンプレーティング法、化学気相成長法（CVD）、めっき等の各種の薄膜形成法による通常の膜形成法に従って形成する

- 25 ことができ、好適には、前者の厚膜形成法によって形成するとよい。

一方、下部電極16は、白金、モリブデン、タンガステン等によって構成される。また、高温酸化雰囲気に対して耐性を有する導体、例えば金属単体、合金、絶縁性セラミックスと金属単体との混合物、絶縁性セラミックスと合金との混合物等によって構成され、好適には、白金、イリジウム、パラジウム、ロジウム、

モリブデン等の高融点貴金属や、銀-パラジウム、銀-白金、白金-パラジウム等の合金を主成分とするものや、白金とセラミック材料とのサメット材料によって構成される。さらに好適には、白金のみ又は白金系の合金を主成分とする材料によって構成される。

- 5 また、下部電極16として、カーボン、グラファイト系の材料を用いてもよい。なお、電極材料中に添加されるセラミック材料の割合は、5～30体積%程度が好適である。もちろん、上述した上部電極と同様の材料を用いるようにしてもよい。

- 下部電極16は、好適には上記厚膜形成法によって形成する。下部電極16の
10 厚さは、20 μ m以下であるとよく、好適には5 μ m以下であるとよい。

エミッタ部12、上部電極14及び下部電極16をそれぞれ形成するたびに熱処理（焼成処理）することで、一体構造にすることができる。

- エミッタ部12、上部電極14及び下部電極16を一体化させるための焼成処理に係る温度としては、500～1400 $^{\circ}$ Cの範囲、好適には、1000～14
15 00 $^{\circ}$ Cの範囲とするとよい。さらに、膜状のエミッタ部12を熱処理する場合、高温時にエミッタ部12の組成が不安定にならないように、エミッタ部12の蒸発源と共に雰囲気制御を行いながら焼成処理を行うことが好ましい。

- 焼成処理を行うことで、特に、上部電極14となる膜が例えば厚み10 μ mから厚み0.1 μ mに収縮すると同時に複数の孔等が形成されていき、結果的に、
20 図1に示すように、上部電極14に複数の貫通部20が形成され、貫通部20の周部26が底状に形成された構成となる。もちろん、上部電極14となる膜に対して事前（焼成前）にエッチング（ウェットエッチング、ドライエッチング）やリフトオフ等によってパターンニングを施した後、焼成するようにしてもよい。この場合、後述するように、貫通部20として切欠き形状やスリット形状を容易
25 に形成することができる。

なお、エミッタ部12を適切な部材によって被覆し、該エミッタ部12の表面が焼成雰囲気中に直接露出しないようにして焼成する方法を採用してもよい。

次に、電子放出素子10Aの電子放出原理について説明する。まず、上部電極14と下部電極16との間に駆動電圧 V_a が印加される。この駆動電圧 V_a は、

例えば、パルス電圧あるいは交流電圧のように、時間の経過に伴って、基準電圧（例えば0 V）よりも高い又は低い電圧レベルから基準電圧よりも低い又は高い電圧レベルに急激に変化する電圧として定義される。

また、エミッタ部12の上面と上部電極14と該電子放出素子10Aの周囲の媒質（例えば、真空）との接触箇所においてトリプルジャンクションが形成されている。ここで、トリプルジャンクションとは、上部電極14とエミッタ部12と真空との接触により形成される電界集中部として定義される。なお、前記トリプルジャンクションには、上部電極14とエミッタ部12と真空が1つのポイントとして存在する3重点も含まれる。雰囲気中の真空度は、 $10^{-3} \sim 10^{-6}$ Paが好ましく、より好ましくは $10^{-3} \sim 10^{-5}$ Paである。

第1の実施の形態では、トリプルジャンクションは、上部電極14の底部26や上部電極14の周縁部に形成されることになる。従って、上部電極14と下部電極16との間に上述のような駆動電圧 V_a が印加されると、上記したトリプルジャンクションにおいて電界集中が発生する。

15 まず、第1の電子放出方式について図4及び図5を参照しながら説明する。図4の第1の出力期間T1において、上部電極14に基準電圧（この場合、0 V）よりも低い電圧 V_2 が印加され、下部電極16に基準電圧よりも高い電圧 V_1 が印加される。この第1の出力期間T1では、上記したトリプルジャンクションにおいて電界集中が発生し、例えばエミッタ部12のうち、上部電極14の貫通部20から露出する部分や上部電極14の周縁部近傍の部分に電子が蓄積される。このとき、上部電極14が電子供給源として機能することになる。

20 次の第2の出力期間T2において、駆動電圧 V_a の電圧レベルが急減に変化、すなわち、上部電極14に基準電圧よりも高い電圧 V_1 が印加され、下部電極16に基準電圧よりも低い電圧 V_2 が印加されると、今度は、上記したトリプルジャンクションにおいて逆方向への電界集中が発生し、図5に示すように、エミッタ部12のうち、前記電子の蓄積されていた部分から、貫通部20を通じて電子が放出される。もちろん、上部電極14の外周部近傍からも電子が放出される。

次に、第2の電子放出方式について説明する。まず、図6の第1の出力期間T1において、上部電極14に基準電圧よりも高い電圧 V_3 が印加され、下部電極

16に基準電圧よりも低い電圧V4が印加される。この第1の出力期間T1では、電子放出のための準備（例えばエミッタ部12の一方向への分極等）が行われる。次の第2の出力期間T2において、駆動電圧Vaの電圧レベルが急減に変化、すなわち、上部電極14に基準電圧よりも低い電圧V4が印加され、下部電極16に基準電圧よりも高い電圧V3が印加されると、今度は、上記したトリプルジャンクションにおいて電界集中が発生し、この電界集中によって上部電極14から1次電子が放出され、エミッタ部12のうち、貫通部20から露出する部分並びに上部電極14の外周部近傍に衝突することとなる。これによって、図7に示すように、1次電子が衝突した部分から2次電子（1次電子の反射電子を含む）が放出される。すなわち、第2の出力期間T2の初期段階において、前記貫通部20並びに上部電極14の外周部近傍から2次電子が放出されることとなる。

そして、この第1の実施の形態に係る電子放出素子10Aにおいては、上部電極14に複数の貫通部20を形成したことから、各貫通部20並びに上部電極14の外周部近傍から均等に電子が放出され、全体の電子放出特性のばらつきが低減し、電子放出の制御が容易になると共に、電子放出効率が高くなる。

また、第1の実施の形態では、上部電極14の底部26とエミッタ部12との間にギャップ28が形成された形となることから、駆動電圧Vaを印加した際に、該ギャップ28の部分において電界集中が発生し易くなる。これは、電子放出の高効率化につながり、駆動電圧の低電圧化（低い電圧レベルでの電子放出）を実現させることができる。

上述したように、第1の実施の形態では、上部電極14は、貫通部20の周部において底部26が形成されることから、上述したギャップ28の部分での電界集中が大きくなることも相俟って、上部電極14の底部26から電子が放出され易くなる。これは、電子放出の高出力、高効率化につながり、駆動電圧Vaの低電圧化を実現させることができる。また、上述した第1の電子放出方式（エミッタ部12に蓄積された電子を放出させる方式）や第2の電子放出方式（上部電極14からの1次電子をエミッタ部12に衝突させて2次電子を放出させる方式）のいずれにしても、上部電極14の底部26がゲート電極（制御電極、フォーカス電子レンズ等）として機能するため、放出電子の直進性を向上させることが

できる。これは、電子放出素子 10 A を多数並べて例えばディスプレイの電子源として構成した場合に、クロストークを低減する上で有利となる。

5 このように、第 1 の実施の形態に係る電子放出素子 10 A においては、高い電界集中を容易に発生させることができ、しかも、電子放出箇所を多くすることができ、電子放出について高出力、高効率を図ることができ、低電圧駆動（低消費電力）も可能となる。

10 特に、第 1 の実施の形態では、エミッタ部 12 の少なくとも上面は、誘電体の粒界による凹凸 22 が形成され、上部電極 14 は、誘電体の粒界における凹部 24 に対応した部分に貫通部 20 が形成されるようにしたので、上部電極 14 の底部 26 を簡単に実現させることができる。

15 また、エミッタ部 12 の上面、すなわち、誘電体の粒界における凸部 30 の表面（凹部 24 の内壁面）と、上部電極 14 の底部 26 の下面 26 a とのなす角の最大角度 θ を、 $1^\circ \leq \theta \leq 60^\circ$ とし、エミッタ部 12 の誘電体の粒界における凸部 30 の表面（凹部 24 の内壁面）と、上部電極 14 の底部 26 の下面 26 a との間の鉛直方向に沿った最大間隔 d を、 $0 \mu\text{m} < d \leq 10 \mu\text{m}$ としたので、これらの構成により、ギャップ 28 の部分での電界集中の度合いをより大きくすることができ、電子放出についての高出力、高効率、並びに駆動電圧の低電圧化を効率よく図ることができる。

20 また、この第 1 の実施の形態では、貫通部 20 を孔 32 の形状としている。図 2 に示すように、エミッタ部 12 のうち、上部電極 14 と下部電極 16（図 1 参照）間に印加される駆動電圧 V_a に応じて分極が反転あるいは変化する部分は、上部電極 14 が形成されている直下の部分（第 1 の部分）40 と、貫通部 20 の内周から貫通部 20 の内方に向かう領域に対応した部分（第 2 の部分）42 であり、特に、第 2 の部分 42 は、駆動電圧 V_a のレベルや電界集中の度合いによって変化することになる。従って、この第 1 の実施の形態では、孔 32 の平均径を、 $0.1 \mu\text{m}$ 以上、 $10 \mu\text{m}$ 以下としている。この範囲であれば、貫通部 20 を通じて放出される電子の放出分布にばらつきがほとんどなくなり、効率よく電子を放出することができる。

なお、孔 32 の平均径が $0.1 \mu\text{m}$ 未満の場合、電子を蓄積する領域が狭くな

り、放出される電子の量が少なくなる。もちろん、孔32を多数設けることも考えられるが、困難性を伴い、製造コストが高くなるという懸念がある。孔32の平均径が $10\mu\text{m}$ を超えると、エミッタ部12の前記貫通部20から露出した部分のうち、電子放出に寄与する部分（第2の部分）42の割合（占有率）が小さくなり、電子の放出効率が低下する。

上部電極14の底部26の断面形状としては、図2に示すように、上面及び下面とも水平に延びる形状としてもよいし、図8に示すように、底部26の下面26aがほぼ水平であって、底部26の上端部が上方に盛り上がっていてもよい。また、図9に示すように、底部26の下面26aが、貫通部20の中心に向かうに従って徐々に上方に傾斜していてもよいし、図10に示すように、底部26の下面26aが、貫通部20の中心に向かうに従って徐々に下方に傾斜していてもよい。図8の例は、ゲート電極としての機能を高めることが可能であり、図10の例では、ギャップ28の部分が狭くなることから、より電界集中を発生し易くなり、電子放出の高出力、高効率を向上させることができる。

また、この第1の実施の形態においては、図11に示すように、電氣的な動作において、上部電極14と下部電極16間に、エミッタ部12によるコンデンサC1と、各ギャップ28による複数のコンデンサCaの集合体とが形成された形となる。すなわち、各ギャップ28による複数のコンデンサCaは、互いに並列に接続された1つのコンデンサC2として構成され、等価回路的には、集合体によるコンデンサC2にエミッタ部12によるコンデンサC1が直列接続された形となる。

実際には、集合体によるコンデンサC2にエミッタ部12によるコンデンサC1がそのまま直列接続されることはなく、上部電極14への貫通部20の形成個数や全体の形成面積等に応じて、直列接続されるコンデンサ成分が変化する。

ここで、図12に示すように、例えばエミッタ部12によるコンデンサC1のうち、その25%が集合体によるコンデンサC2と直列接続された場合を想定して、容量計算を行ってみる。まず、ギャップ28の部分は真空であることから比誘電率は1となる。そして、ギャップ28の最大間隔dを $0.1\mu\text{m}$ 、1つのギャップ28の部分の面積 $S=1\mu\text{m}\times 1\mu\text{m}$ とし、ギャップ28の数を10、0

00個とする。また、エミッタ部12の比誘電率を2000、エミッタ部12の厚みを $20\mu\text{m}$ 、上部電極14と下部電極16の対向面積を $200\mu\text{m}\times 200\mu\text{m}$ とすると、集合体によるコンデンサC2の容量値は 0.885pF 、エミッタ部12によるコンデンサC1の容量値は 35.4pF となる。そして、エミッタ部12によるコンデンサC1のうち、集合体によるコンデンサC2と直列接続されている部分を全体の25%としたとき、該直列接続された部分における容量値（集合体によるコンデンサC2の容量値を含めた容量値）は 0.805pF であり、残りの容量値は 26.6pF となる。

これら直列接続された部分と残りの部分は並列接続されているから、全体の容量値は、 27.5pF となる。この容量値は、エミッタ部12によるコンデンサC1の容量値 35.4pF の78%である。つまり、全体の容量値は、エミッタ部12によるコンデンサC1の容量値よりも小さくなる。

このように、複数のギャップ28によるコンデンサCaの集合体については、ギャップ28によるコンデンサCaの容量値が相対的に小さいものとなり、エミッタ部12によるコンデンサC1との分圧から、印加電圧Vaのほとんどはギャップ28に印加されることになり、各ギャップ28において、電子放出の高出力化が実現される。

また、集合体によるコンデンサC2は、エミッタ部12によるコンデンサC1に直列接続された構造となることから、全体の容量値は、エミッタ部12によるコンデンサC1の容量値よりも小さくなる。このことから、電子放出は高出力であり、全体の消費電力は小さくなるという好ましい特性を得ることができる。

次に、上述した第1の実施の形態に係る電子放出素子10Aの3つの変形例について図13～図15を参照しながら説明する。

まず、第1の変形例に係る電子放出素子10Aaは、図13に示すように、貫通部20の形状、特に、上面から見た形状が切欠き44の形状である点で異なる。切欠き44の形状としては、図13に示すように、多数の切欠き44が連続して形成されたくし歯状の切欠き46が好ましい。この場合、貫通部20を通じて放出される電子の放出分布のばらつきを低減し、効率よく電子を放出する上で有利となる。特に、切欠き44の平均幅を、 $0.1\mu\text{m}$ 以上、 $10\mu\text{m}$ 以下とする

ことが好ましい。この平均幅は、切欠き44の中心線を直交するそれぞれ異なる複数の線分の長さの平均を示す。

第2の変形例に係る電子放出素子10Abは、図14に示すように、貫通部20の形状、特に、上面から見た形状がスリット48である点で異なる。ここで、スリット48とは、長軸方向（長手方向）の長さが短軸方向（短手方向）の長さの10倍以上であるものをいう。従って、長軸方向（長手方向）の長さが短軸方向（短手方向）の長さの10倍未満のものは孔32（図3参照）の形状として定義することができる。また、スリット48としては、複数の孔32が連通してつながったものも含まれる。この場合、スリット48の平均幅は、0.1 μ m以上、1.0 μ m以下とすることが好ましい。貫通部20を通じて放出される電子の放出分布のばらつきを低減し、効率よく電子を放出する上で有利になるからである。この平均幅は、スリット48の中心線を直交するそれぞれ異なる複数の線分の長さの平均を示す。

第3の変形例に係る電子放出素子10Acは、図15に示すように、エミッタ部12の上面のうち、貫通部20と対応する部分、例えば誘電体の粒界の凹部24にフローティング電極50が存在している点で異なる。この場合、フローティング電極50も電子供給源となることから、電子の放出段階（上述した第1の電子放出方式における第2の出力期間T2（図4参照））において、多数の電子を貫通部20を通じて外部に放出させることができる。

ここで、第1の実施の形態に係る電子放出素子10Aの特性、特に、電圧-電荷量特性（電圧-分極量特性）について説明する。

この第1の実施の形態に係る電子放出素子10Aは、真空中において、図16の特性に示すように、基準電圧=0（V）を基準とした非対称のヒステリシス曲線を描く。

この特性について説明すると、先ず、エミッタ部12のうち、電子が放出される部分を電子放出部と定義したとき、基準電圧が印加されるポイントp1（初期状態）では、前記電子放出部に電子がほとんど蓄積されていない状態となっている。その後、負電圧を印加すると、前記電子放出部における正電荷の量が増し、それに伴って、電子が蓄積されていくこととなる。負電圧のレベルを負方向に大

大きくしていくと、前記電子放出部への電子の蓄積に伴って、ある負電圧のポイント p 2 において正電荷の量と電子の量が平衡な状態となり、負電圧のレベルを負方向に大きくしていくと、さらに電子の蓄積量が増加し、これに伴って、負電荷の量が正電荷の量よりも多い状態となる。ポイント p 3 において電子の蓄積飽和状態となる。

その後、負電圧のレベルを小さくしていき、さらに、基準電圧を超えて正電圧を印加していくと、ポイント p 4 において、電子の放出が開始される。この正電圧を正方向に大きくすれば、電子の放出量が増加し、ポイント p 5 では、正電荷の量と電子の量が平衡な状態となる。そして、ポイント p 6 では、蓄積されていた電子がほとんど放出され、正電荷の量と負電荷の量の差が初期状態とほぼ同じになる。

そして、この特性の特徴ある部分は、以下の点である。

(1) 正電荷の量と電子の量が平衡な状態であるポイント p 2 における負電圧を V_1 、ポイント p 5 における正電圧を V_2 としたとき、

$$|V_1| < |V_2|$$

である。

(2) より詳しくは、 $1.5 \times |V_1| < |V_2|$ である。

(3) ポイント p 2 における正電荷の量と電子の量の変化の割合を $\Delta Q_1 / \Delta V_1$ 、ポイント p 5 における正電荷の量と電子の量の変化の割合を $\Delta Q_2 / \Delta V_2$ としたとき、

$$(\Delta Q_1 / \Delta V_1) > (\Delta Q_2 / \Delta V_2)$$

である。

(4) 電子が蓄積飽和状態となる電圧を V_3 、電子の放出が開始される電圧を V_4 としたとき、

$$1 \leq |V_4| / |V_3| \leq 1.5$$

である。

次に、図 16 の特性を電圧一分極量特性の立場で説明する。初期状態において、エミッタ部 12 が一方向に分極されて、例えば双極子モーメントの負極がエミッタ部 12 の上面に向いた状態（図 17 A 参照）となっている場合を想定して説

明する。

先ず、図16に示すように、基準電圧（例えば0V）が印加されるポイントp1（初期状態）では、図17Aに示すように、双極子モーメントの負極がエミッタ部12の上面に向いた状態となっていることから、エミッタ部12の上面には

- 5 電子がほとんど蓄積されていない状態となっている。

その後、負電圧を印加し、該負電圧のレベルを負方向に大きくしていくと、負の抗電圧を超えたあたり（図16のポイントp2参照）から分極が反転しはじめ、図16のポイントp3にて全ての分極が反転することになる（図17B参照）。この分極反転によって、上記したトリプルジャンクションにおいて電界集中が

- 10 発生し、例えばエミッタ部12のうち、上部電極14の貫通部20から露出する部分や上部電極14の周縁部近傍の部分に電子が蓄積される（図17C参照）。

特に、上部電極14から、エミッタ部12のうち、上部電極14の貫通部20から露出する部分に向けて電子が放出（内部放出）されることになる。そして、図16のポイントp3において電子の蓄積飽和状態となる。

- 15 その後、負電圧のレベルを小さくしていき、さらに、基準電圧を超えて正電圧を印加していくと、ある電圧レベルまでは、エミッタ部12の上面の帯電状態が維持される（図18A参照）。正電圧のレベルをさらに大きくいくと、図16のポイントp4の直前において、双極子モーメントの負極がエミッタ部12の上面に向き始める領域が発生し（図18B参照）、さらに、レベルを上げて図16の
- 20 ポイントp4以降において、電子の放出が開始される（図18C参照）。この正電圧を正方向に大きくすれば、電子の放出量が増加し、正の抗電圧を超えたあたり（ポイントp5）から分極が再び反転する領域が拡大して、ポイントp6では、蓄積されていた電子がほとんど放出され、このときの分極量は初期状態の分極量とほぼ同じになる。

- 25 そして、この電子放出素子10Aの特性の特徴ある部分は、以下の点となる。

(A) 負の抗電圧を $v1$ 、正の抗電圧を $v2$ としたとき、

$$|v1| < |v2|$$

である。

(B) より詳しくは、 $1.5 \times |v1| < |v2|$ である。

(C) 負の抗電圧 v_1 を印加した際における分極の変化の割合を $\Delta q_1 / \Delta v_1$ 、正の抗電圧 v_2 を印加した際における分極の変化の割合を $\Delta q_2 / \Delta v_2$ としたとき、

$$(\Delta q_1 / \Delta v_1) > (\Delta q_2 / \Delta v_2)$$

5 である。

(D) 電子が蓄積飽和状態となる電圧を v_3 、電子の放出が開始される電圧を v_4 としたとき、

$$1 \leq |v_4| / |v_3| \leq 1.5$$

である。

10 第1の実施の形態に係る電子放出素子10Aは、上述のような特性を有することから、複数の画素に応じて配列された複数の電子放出素子10Aを有し、各電子放出素子10Aからの電子放出によって画像表示を行うディスプレイに簡単に適用させることができる。

次に、第1の実施の形態に係る電子放出素子10Aを使用した構成されたディスプレイ100について説明する。

このディスプレイ100は、図19に示すように、多数の電子放出素子10Aが画素に対応してマトリックス状あるいは千鳥状に配列された表示部102と、該表示部102を駆動するための駆動回路104とを有する。この場合、1画素当たり1つの電子放出素子10Aを割り当ててもよいし、1画素当たり複数の電子放出素子10Aを割り当てるようにしてもよい。この実施の形態では、説明を簡単にするために、1画素当たり1つの電子放出素子10Aを割り当てた場合を想定して説明する。

この駆動回路104は、表示部102に対して行を選択するための複数の行選択線106が配線され、同じく表示部102に対して画素信号Sdを供給するための複数の信号線108が配線されている。

さらに、この駆動回路104は、行選択線106に選択的に選択信号Ssを供給して、1行単位に電子放出素子10Aを順次選択する行選択回路110と、信号線108に平行に画素信号Sdを出力して、行選択回路110にて選択された行（選択行）にそれぞれ画素信号Sdを供給する信号供給回路112と、入

力される映像信号 S_v 及び同期信号 S_c に基づいて行選択回路 110 及び信号供給回路 112 を制御する信号制御回路 114 とを有する。

行選択回路 110 及び信号供給回路 112 には電源回路 116 (例えば 50 V 及び 0 V) が接続され、特に、行選択回路 110 と電源回路 116 間の負極ラインと GND (グラウンド) 間にパルス電源 118 が接続されている。パルス電源 118 は、後述する電荷蓄積期間 T_d に基準電圧 (例えば 0 V)、発光期間 T_h に電圧 (例えば -400 V) とされたパルス状の電圧波形を出力する。

行選択回路 110 は、電荷蓄積期間 T_d に、選択行に対して選択信号 S_s を出力し、非選択行に対して非選択信号 S_n を出力する。また、行選択回路 110 は、発光期間 T_h に電源回路 116 からの電源電圧 (例えば 50 V) とパルス電源 118 からの電圧 (例えば -400 V) が加わった一定電圧 (例えば -350 V) を出力する。

信号供給回路 112 は、パルス生成回路 120 と振幅変調回路 122 とを有する。パルス生成回路 120 は、電荷蓄積期間 T_d において、一定のパルス周期で一定の振幅 (例えば 50 V) を有するパルス信号 S_p を生成、出力し、発光期間 T_h において、基準電圧 (例えば 0 V) を出力する。

振幅変調回路 122 は、電荷蓄積期間 T_d において、パルス生成回路 120 からのパルス信号 S_p をそれぞれ選択行に関する画素の輝度レベルに応じて振幅変調し、それぞれ選択行に関する画素の画素信号 S_d として出力し、発光期間 T_h において、パルス生成回路 120 からの基準電圧をそのまま出力する。これらのタイミング制御並びに選択された複数の画素の輝度レベルの振幅変調回路 122 への供給は、信号制御回路 114 を通じて行われる。

例えば図 20A~図 20C において 3 つの例を示すように、輝度レベルが低い場合は、パルス信号 S_p の振幅を低レベル V_{s1} とし (図 20A 参照)、輝度レベルが中位の場合は、パルス信号 S_p の振幅を中レベル V_{sm} とし (図 20B 参照)、輝度レベルが高い場合は、パルス信号 S_p の振幅を高レベル V_{sh} とする (図 20C 参照)。この例では、3 つに分けた例を示したが、ディスプレイ 100 に適用する場合には、パルス信号 S_p を、画素の輝度レベルに応じて、例えば 128 段階や 256 段階に振幅変調される。

ここで、信号供給回路112の変形例について図21～図22Cを参照しながら説明する。

変形例に係る信号供給回路112aは、図21に示すように、パルス生成回路124とパルス幅変調回路126とを有する。パルス生成回路124は、電荷蓄積期間Tdにおいて、電子放出素子10Aに印加される電圧波形（図22A～図22Cにおいて実線で示す）において、立ち上がり部分の波形が連続的にレベルが変化するパルス信号Spa（図22A～図22Cにおいて破線で示す）を生成、出力し、発光期間Thにおいて、基準電圧を出力する。そして、パルス幅変調回路126は、電荷蓄積期間Tdにおいて、パルス生成回路124からのパルス信号Spaのパルス幅Wp（図22A～図22C参照）をそれぞれ選択行に関する画素の輝度レベルに応じて変調し、それぞれ選択行に関する画素の画素信号Sdとして出力する。発光期間Thにおいてはパルス生成回路124からの基準電圧をそのまま出力する。この場合も、これらのタイミング制御並びに選択された複数の画素の輝度レベルのパルス幅変調回路126への供給は、信号制御回路114を通じて行われる。

例えば図22A～図22Cにおいて3つの例を示すように、輝度レベルが低い場合は、パルス信号Spaのパルス幅Wpを短くして、実質的な振幅を低レベルVslとし（図22A参照）、輝度レベルが中位の場合は、パルス信号Spaのパルス幅Wpを中位の長さにして、実質的な振幅を中位レベルVsmとし（図22B参照）、輝度レベルが高い場合は、パルス信号Spaのパルス幅Wpを長くして、実質的な振幅を高レベルVshとする（図22C参照）。ここでは、3つの例を示したが、ディスプレイ100に適用する場合には、パルス信号Spaを、画素の輝度レベルに応じて、例えば128段階や256段階にパルス幅変調される。

ここで、上述した電子の蓄積に係る負電圧のレベルを変化させた場合の特性図の変化を、図20A～図20Cに示すパルス信号Spに対する3つの振幅変調の例と、図22A～図22Cに示すパルス信号Spaに対する3つのパルス幅変調の例との関連でみると、図20A及び図22Aに示す負電圧のレベルVslでは、図23Aに示すように、電子放出素子10Aに蓄積される電子の量が少ない。

図20B及び図22Bに示す負電圧のレベル V_{sm} では、図23Bに示すように、蓄積される電子の量が中位であり、図20C及び図22Cに示す負電圧のレベル V_{sh} では、図23Cに示すように、蓄積される電子の量が多く、ほぼ飽和状態となっている。

- 5 しかし、これら図23A～図23Cに示すように、電子の放出が開始されるポイントp4の電圧レベルはほとんど同じになっている。すなわち、電子を蓄積した後、ポイントp4に示す電圧レベルまで印加電圧が変化したとしても、電子の蓄積量にほとんど変化はなく、メモリ効果が発揮されることがわかる。

- また、第1の実施の形態に係る電子放出素子10Aをディスプレイ100の画
10 素として利用する場合は、図24に示すように、上部電極14の上方に、例えばガラスやアクリル製の透明板130が配置され、該透明板130の裏面（上部電極14と対向する面）に例えば透明電極にて構成されたコレクタ電極132が配置され、該コレクタ電極132には蛍光体134が塗布される。なお、コレクタ電極132にはバイアス電圧源136（コレクタ電圧 V_c ）が抵抗を介して接続
15 される。また、電子放出素子10Aは、当然のことながら、真空空間内に配置される。雰囲気中の真空度は、 $10^2 \sim 10^{-6}$ Paが好ましく、より好ましくは $10^{-3} \sim 10^{-5}$ Paである。

- このような範囲を選んだ理由は、低真空では、（1）空間内に気体分子が多いため、プラズマを生成し易く、プラズマが多量に発生され過ぎると、その正イオンが多量に上部電極14に衝突して損傷を進めるおそれや、（2）放出電子がコレクタ電極132に到達する前に気体分子に衝突してしまい、コレクタ電圧 V_c で十分に加速した電子による蛍光体134の励起が十分に行われなくなるおそれがあるからである。

- 一方、高真空では、電界が集中するポイントから電子を放出し易いものの、構造体の支持、及び真空のシール部が大きくなり、小型化に不利になるという問題
25 があるからである。

図24の例では、透明板130の裏面にコレクタ電極132を形成し、該コレクタ電極132の表面（上部電極14と対向する面）に蛍光体134を形成するようにしたが、その他、図25に示すように、透明板130の裏面に蛍光体13

4を形成し、該蛍光体134を覆うようにコレクタ電極132を形成するようにしてもよい。

これは、CRT等で用いられる構成であって、コレクタ電極132がメタルバックとして機能する。エミッタ部12から放出された電子はコレクタ電極132を貫通して蛍光体134に進入し、該蛍光体134を励起する。従って、コレクタ電極132は電子が貫通できる程度の厚さであり、100nm以下が好ましい。電子の運動エネルギーが大きいほど、コレクタ電極132の厚みを厚くすることができる。

このような構成とすることで以下の効果を奏することができる。

10 (a) 蛍光体134が導電性でない場合、蛍光体134の帯電(負)を防ぎ、電子の加速電界を維持することができる。

(b) コレクタ電極132が蛍光体134の発光を反射して、蛍光体134の発光を効率よく透明板130側(発光面側)に放出することができる。

15 (c) 蛍光体134への過度な電子の衝突を防ぐことができ、蛍光体134の劣化や蛍光体134からのガス発生を防止することができる。

次に、この第1の実施の形態に係る電子放出素子10Aについての4つの実験例(第1～第4の実験例)を示す。

第1の実験例は、電子放出素子10Aの電子の放出状態をみたものである。すなわち、図26Aに示すように、電子放出素子10Aに対して-70Vの電圧を有する書込みパルスPwを印加して、電子放出素子10Aに電子を蓄積させ、その後、280Vの電圧を有する点灯パルスPhを印加して電子を放出させた。電子の放出状態は、蛍光体134の発光を受光素子(フォトダイオード)にて検出して測定した。検出波形を図26Bに示す。なお、書込みパルスPwと点灯パルスPhのデューティ比は50%とした。

25 この第1の実験例から、点灯パルスPhの立ち上がり途中から発光が開始され、該点灯パルスPhの初期段階で発光が終了していることがわかる。従って、点灯パルスPhの期間をより短くしても発光には影響はないものと考えられる。これは、高電圧の印加期間の短縮化につながり、消費電力の低減化を図る上で有利になる。

第2の実験例は、電子放出素子10Aの電子の放出量が、図27に示す書込みパルスPwの振幅によってどのように変化するかをみたものである。電子の放出量の変化は第1の実験例と同様に、蛍光体134の発光を受光素子（フォトダイオード）にて検出して測定した。実験結果を図28に示す。

- 5 図28において、実線Aは、点灯パルスPhの振幅を200Vとし、書込みパルスPwの振幅を-10Vから-80Vに変化させた場合の特性を示し、実線Bは、点灯パルスPhの振幅を350Vとし、書込みパルスPwの振幅を-10Vから-80Vに変化させた場合の特性を示す。

- 10 この図28に示すように、書込みパルスPwを-20Vから-40Vに変化させた場合、発光輝度は、ほとんど直線的に変化していることがわかる。特に、点灯パルスPhの振幅が350Vの場合と200Vの場合とで比較すると、350Vの場合が書込みパルスPwに対する発光輝度変化のダイナミックレンジが広くなっており、画像表示における輝度向上、コントラストの向上を図る上で有利であることがわかる。この傾向は、点灯パルスPhの振幅設定に対して発光輝度が
- 15 飽和するまでの範囲において、点灯パルスPhの振幅を上げるほど有利になると思われるが、信号伝送系の耐圧や消費電力との関係で、最適な値に設定することが好ましい。

- 第3の実験例は、電子放出素子10Aの電子の放出量が、図27に示す点灯パルスPhの振幅によってどのように変化するかをみたものである。電子の放出量
- 20 の変化は第1の実験例と同様に、蛍光体134の発光を受光素子（フォトダイオード）にて検出して測定した。実験結果を図29に示す。

- 図29において、実線Cは、書込みパルスPwの振幅を-40Vとし、点灯パルスPhの振幅を50Vから400Vに変化させた場合の特性を示し、実線Dは、書込みパルスPwの振幅を-70Vとし、点灯パルスPhの振幅を50Vから
- 25 400Vに変化させた場合の特性を示す。

この図29に示すように、点灯パルスPhを100Vから300Vに変化させた場合、発光輝度は、ほとんど直線的に変化していることがわかる。特に、書込みパルスPwの振幅が-40Vの場合と-70Vの場合とで比較すると、-70Vの場合が点灯パルスPhに対する発光輝度変化のダイナミックレンジが広くな

っており、画像表示における輝度向上、コントラストの向上を図る上で有利であることがわかる。この傾向は、書込みパルス P_w の振幅設定に対して発光輝度が飽和するまでの範囲において、書込みパルス P_w の振幅（この場合、絶対値）を上げるほど有利になると思われるが、この場合も、信号伝送系の耐圧や消費電力との関係で、最適な値に設定することが好ましい。

第4の実験例は、電子放出素子10Aの電子の放出量が、図24又は図25に示すコレクタ電圧 V_c のレベルによってどのように変化するかをみたものである。電子の放出量の変化は第1の実験例と同様に、蛍光体134の発光を受光素子（フォトダイオード）にて検出して測定した。実験結果を図30に示す。

図30において、実線Eは、コレクタ電圧 V_c のレベルを3kVとし、点灯パルス P_h の振幅を80Vから500Vに変化させた場合の特性を示し、実線Fは、コレクタ電圧 V_c のレベルを7kVとし、点灯パルス P_h の振幅を80Vから500Vに変化させた場合の特性を示す。

この図30に示すように、コレクタ電圧 V_c を7kVとした方が、3kVの場合よりも、点灯パルス P_h に対する発光輝度変化のダイナミックレンジが広がっており、画像表示における輝度向上、コントラストの向上を図る上で有利であることがわかる。この傾向は、コレクタ電圧 V_c のレベルを上げるほど有利になると思われるが、この場合も、信号伝送系の耐圧や消費電力との関係で、最適な値に設定することが好ましい。

ここで、上述したディスプレイ100の1つの駆動方法について図31及び図32を参照しながら説明する。図31は、代表的に1行1列、2行1列及び n 行1列の画素の動作を示す。なお、ここで使用する電子放出素子10Aは、図16のポイントp2における抗電圧 v_1 が例えば-20V、ポイントp5における抗電圧 v_2 が+70V、ポイントp3における電圧 v_3 が-50V、ポイントp4における電圧 v_4 が+50Vの特性を有する。

また、図31に示すように、1枚の画像の表示期間を1フレームとしたとき、該1フレーム内に1つの電荷蓄積期間 T_d と1つの発光期間 T_h が含まれており、1つの電荷蓄積期間 T_d には、 n 個の選択期間 T_s が含まれる。各選択期間 T_s はそれぞれ対応する行の選択期間 T_s となるため、対応しない $n-1$ 個の行に

については非選択期間 T_n となる。

そして、この駆動方法は、電荷蓄積期間 T_d に、全ての電子放出素子10Aを走査して、ON対象（発光対象）の画素に対応した複数の電子放出素子10Aにそれぞれ対応する画素の輝度レベルに応じた電圧を印加することにより、ON対象の画素に対応した複数の電子放出素子10Aにそれぞれ対応する画素の輝度レベルに応じた量の電荷（電子）を蓄積させ、次の発光期間 T_h に、全ての電子放出素子10Aに一定の電圧を印加して、ON対象の画素に対応した複数の電子放出素子10Aからそれぞれ対応する画素の輝度レベルに応じた量の電子を放出させて、ON対象の画素を発光させるというものである。

- 10 具体的に説明すると、図32にも示すように、先ず、1行目の選択期間 T_s においては、1行目の行選択線106に例えば50Vの選択信号 S_s が供給され、その他の行の行選択線106に例えば0Vの非選択信号 S_n が供給される。1列目の画素のうち、ON（発光）とすべき画素の信号線108に供給される画素信号 S_d の電圧は、0V以上、30V以下の範囲であって、かつ、それぞれ対応する画素の輝度レベルに応じた電圧となる。輝度レベル最大であれば0Vとなる。
- 15 この画素信号 S_d の輝度レベルに応じた変調は、図19に示す振幅変調回路122や図21に示すパルス幅変調回路126を通じて行われる。

- これにより、1行目のONとすべき各画素にそれぞれ対応する電子放出素子10Aの上部電極14と下部電極16間にはそれぞれ輝度レベルに応じて-50V以上、-20V以下の電圧が印加される。その結果、上述した各電子放出素子10Aには、印加された電圧に応じた電子が蓄積されることになる。例えば1行1列目の画素に対応する電子放出素子は、例えば最大輝度レベルであることから、図16の特性のポイントp3の状態となり、エミッタ部12のうち、上部電極14の貫通部20から露出する部分に最大量の電子が蓄積されることになる。
- 20

- 25 なお、OFF（消光）を示す画素に対応する電子放出素子10Aに供給される画素信号 S_d の電圧は、例えば50Vであり、これにより、OFF対象の画素に対応する電子放出素子10Aには0Vが印加され、これは、図16の特性のポイントp1の状態となり、電子の蓄積は行われない。

1行目への画素信号 S_d の供給が終了した後、2行目の選択期間 T_s において

は、2行目の行選択線106に50Vの選択信号 S_s が供給され、その他の行の行選択線106に0Vの非選択信号 S_n が供給される。この場合も、ON（発光）とすべき画素に対応する電子放出素子10Aの上部電極14と下部電極16間にはそれぞれ輝度レベルに応じて-50V以上、-20V以下の電圧が印加される。このとき、非選択状態にある例えば1行目の画素に対応する電子放出素子10Aの上部電極14と下部電極16間には0V以上、50V以下の電圧が印加されるが、この電圧は、図16の特性のポイント4に達しないレベルの電圧であることから、1行目のうち、ON（発光）とすべき画素に対応する電子放出素子10Aから電子が放出されるということはない。つまり、非選択状態の1行目の画素が、選択状態の2行目の画素に供給される画素信号 S_d の影響を受けるということがない。

以下同様に、 n 行目の選択期間 T_s においては、 n 行目の行選択線106に50Vの選択信号 S_s が供給され、その他の行の行選択線106に0Vの非選択信号 S_n が供給される。この場合も、ON（発光）とすべき画素に対応する電子放出素子10Aの上部電極14と下部電極16間にはそれぞれ輝度レベルに応じて-50V以上、-20V以下の電圧が印加される。このとき、非選択状態にある1行～($n-1$)行の各画素に対応する電子放出素子10Aの上部電極14と下部電極16間には0V以上、50V以下の電圧が印加されるが、これら非選択状態の各画素のうち、ON（発光）とすべき画素に対応する電子放出素子10Aから電子が放出されるということはない。

n 行目の選択期間 T_s が経過した段階で、発光期間 T_h に入る。この発光期間 T_h では、全電子放出素子10Aの上部電極14には、信号供給回路112を通じて基準電圧（例えば0V）が印加され、全電子放出素子10Aの下部電極16には、-350Vの電圧（パルス電源118の-400V+行選択回路110の電源電圧50V）が印加される。これにより、全電子放出素子10Aの上部電極14と下部電極16間に高電圧（+350V）が印加される。全電子放出素子10Aは、それぞれ図16の特性のポイントp6の状態となり、図18Cに示すように、エミッタ部12のうち、前記電子の蓄積されていた部分から、貫通部20を通じて電子が放出される。もちろん、上部電極14の外周部近傍からも電子が

放出される。

つまり、ON（発光）とすべき画素に対応する電子放出素子10Aから電子が放出され、放出された電子は、これら電子放出素子10Aに対応するコレクタ電極132に導かれて、対応する蛍光体134を励起し、発光する。これによって

5、透明板130の表面から画像が表示されることになる。

以後同様に、フレーム単位に、電荷蓄積期間Tdにおいて、ON（発光）とすべき画素に対応する電子放出素子10Aに電子を蓄積し、発光期間Thにおいて、蓄積されていた電子を放出して蛍光発光させることで、透明板130の表面から動画あるいは静止画像が表示されることになる。

10 このように、第1の実施の形態に係る電子放出素子においては、複数の画素に応じて配列された複数の電子放出素子10Aを有し、各電子放出素子10Aからの電子放出によって画像表示を行うディスプレイ100に適用させることが容易になる。

例えば、上述したように、1フレーム内の電荷蓄積期間Tdに、全ての電子放出素子を走査して、ON対象の画素に対応した複数の電子放出素子10Aにそれぞれ対応する画素の輝度レベルに応じた電圧を印加することにより、ON対象の画素に対応した複数の電子放出素子10Aにそれぞれ対応する画素の輝度レベルに応じた量の電荷を蓄積させ、次の発光期間Thに、全ての電子放出素子10Aに一定の電圧を印加して、ON対象の画素に対応した複数の電子放出素子10A
20 からそれぞれ対応する画素の輝度レベルに応じた量の電子を放出させて、ON対象の画素を発光させることが可能となる。

また、この第1の実施の形態においては、例えば電子が蓄積飽和状態となる電圧V3と、電子の放出が開始される電圧V4との関係が、 $1 \leq |V4| / |V3| \leq 1.5$ である。

25 通常、例えば、電子放出素子10Aをマトリックス状に配列して、水平走査期間に同期させて1行単位に電子放出素子10Aを選択し、選択状態にある電子放出素子10Aに対してそれぞれ画素の輝度レベルに応じた画素信号Sdを供給するとき、非選択状態の画素にも、画素信号Sdが供給されることになる。

非選択状態の電子放出素子10Aが画素信号Sdの影響を受けて例えば電子放

出してしまうと、表示画像の画質の劣化やコントラストの低下を招くという問題がある。

しかし、この第1の実施の形態では、上述した特性を有するため、選択状態の電子放出素子10Aに供給される画素信号S_dの電圧レベルを、基準電圧から電圧V₃までの任意の電圧とし、非選択状態の電子放出素子10Aに対して、例えば画素信号S_dの逆極性の信号が供給されるように設定するという簡単な電圧関係にしても、非選択状態の画素が、選択状態の画素への画素信号S_dによって影響を受けることなく、各画素でのメモリ効果を実現でき、高輝度、高コントラスト化を図ることができる。

10 一方、このディスプレイ100においては、電荷蓄積期間T_dに、全ての電子放出素子10Aに必要な電荷を蓄積し、その後の発光期間T_hに、全ての電子放出素子10Aに対して電子放出に必要な電圧を印加して、ON対象の画素に対応した複数の電子放出素子10Aから電子を放出させて、ON対象の画素を発光させるようにしている。

15 通常、電子放出素子10Aで画素を構成した場合、画素を発光させるには、電子放出素子10Aに高電圧を印加する必要がある。そのことから、画素への走査時に電荷を蓄積してさらに発光を行わせる場合、1つの画像を表示させる期間（例えば1フレーム）にわたって高電圧を印加する必要があり、消費電力が大きくなるという問題がある。また、各電子放出素子10Aを選択し、画素信号S_dを
20 供給する回路も高電圧に対応した回路にする必要がある。

しかし、この例では、全ての電子放出素子10Aに電荷を蓄積した後に、全ての電子放出素子10Aに電圧を印加して、ON対象の電子放出素子10Aに対応する画素を発光させるというものである。

従って、全ての電子放出素子10Aに電子放出のための電圧（放出電圧）を印
25 加する期間T_hは、当然に、1フレームよりも短くなり、しかも、図26A及び図26Bに示す第1の実験例からもわかるように、放出電圧の印加期間を短くすることができることから、画素への走査時に電荷の蓄積と発光とを行わせる場合と比して消費電力を大幅に低減させることができる。

また、電子放出素子10Aに電荷を蓄積する期間T_dと、ON対象の画素に対

応する電子放出素子10Aから電子放出させる期間 T_h とを分離したため、各電子放出素子10Aにそれぞれ輝度レベルに応じた電圧を印加するための回路の低電圧駆動を図ることができる。

また、画像に応じた画素信号及び電荷蓄積期間 T_d の選択信号 S_s /非選択信号 S_n は、行又は列毎に駆動する必要があるが、上述した実施の形態にみられるように、駆動電圧は数10ボルトでよいので、蛍光表示管等で使用される安価な多出力ドライバを使用することができる。一方、発光期間 T_h においては、電子を十分に放出させる電圧は、前記駆動電圧よりも大きくなる可能性があるが、全てON対象の画素を一括して駆動すればよいので、多出力の回路部品を必要としない。例えば高耐圧のディスクリート部品で構成した1出力だけの駆動回路があればよいので、コスト的に安価で済む上に、回路規模も小さく済むという利点がある。

次に、第2の実施の形態に係る電子放出素子10Bについて図33を参照しながら説明する。

この第2の実施の形態に係る電子放出素子10Bは、図33に示すように、上述した第1の実施の形態に係る電子放出素子10Aとほぼ同様の構成を有するが、上部電極14の構成材料が下部電極16と同じである点と、上部電極14の厚み t が $10\mu m$ よりも厚い点と、貫通部20をエッチング（ウェットエッチング、ドライエッチング）やリフトオフ、レーザ等を使用して人為的に形成している点で特徴を有する。貫通部20の形状は、上述した第1の実施の形態と同様に、孔32の形状、切欠き44の形状、スリット48の形状を採用することができる。

さらに、上部電極14における貫通部20の周部26の下面26aは、貫通部20の中心に向かうに従って徐々に上方に傾斜している。この形状は、例えばフットオンを使用することで簡単に形成することができる。

この第2の実施の形態に係る電子放出素子10Bにおいても、上述した第1の実施の形態に係る電子放出素子10Aと同様に、高い電界集中を容易に発生させることができ、しかも、電子放出箇所を多くすることができ、電子放出について高出力、高効率を図ることができ、低電圧駆動（低消費電力）も可能となる。

また、図34に示す第1の変形例に係る電子放出素子10Baのように、エミッタ部12の上面のうち、貫通部20と対応する部分にフローティング電極50を存在させてもよい。

5 また、図35に示す第2の変形例に係る電子放出素子10Bbのように、上部電極14として、断面形状がほぼT字状とされた電極を形成するようにしてもよい。

また、図36に示す第3の変形例に係る電子放出素子10Bcのように、上部電極14の形状、特に、上部電極14の貫通部20の周部26が浮き上がった形状としてもよい。これは、上部電極14となる膜材料の中に、焼成工程においてガス化する材料を含ませておけばよい。これにより、焼成工程において、前記材料がガス化し、その跡として、上部電極14に多数の貫通部20が形成されると共に、貫通部20の周部26が浮き上がった形状になる。

次に、第3の実施の形態に係る電子放出素子10Cについて図37を参照しながら説明する。

15 この第3の実施の形態に係る電子放出素子10Cは、図37に示すように、上述した第1の実施の形態に係る電子放出素子10Aとほぼ同様の構成を有するが、例えばヤリミックスで構成された1つの基板60を有する点と、下部電極16が基板60上に形成され、エミッタ部12が基板60上であって、かつ、下部電極16を覆うように形成され、さらに上部電極14がエミッタ部12上に形成されて20 いる点で異なる。

基板60の内部には、各エミッタ部12が形成される部分に対応した位置に、後述する薄肉部を形成するための空所62が設けられている。空所62は、基板60の他端面に設けられた径の小さい貫通孔64を通じて外部と連通されている。

25 前記基板60のうち、空所62の形成されている部分が薄肉とされ（以下、薄肉部66と記す）、それ以外の部分が厚肉とされて前記薄肉部66を支持する固定部68として機能するようになっている。

つまり、基板60は、最下層である基板層60Aと中間層であるスペーサ層60Bと最上層である導板層60Cの積層体であって、スペーサ層60Bのうち、

エミッタ部12に対応する箇所に空所62が形成された一体構造体として把握することができる。基板層60Aは、補強用基板として機能するほか、配線用の基板としても機能するようになっている。なお、前記基板60は、基板層60A、
5 スペース層60B及び薄板層60Cの一体焼成で形成してもよいし、これら層60A～60Cを接着して形成するようにしてもよい。

薄肉部66は、高耐熱性材料であることが好ましい。その理由は、エミッタ部12を有機接着剤等の耐熱性に劣る材料を用いずに、固定部68によって直接薄肉部66を支持させる構造とする場合、少なくともエミッタ部12の形成時に、
10 薄肉部66が変質しないようにするため、薄肉部66は、高耐熱性材料であることが好ましい。

また、薄肉部66は、基板60上に形成される上部電極14に通じる配線と下部電極16に通じる配線との電気的な分離を行うために、電気絶縁材料であることが好ましい。

従って、薄肉部66の材料としては、高耐熱性の金属あるいはその金属表面を
15 ガラス等のセラミック材料で被覆したホーロウ等の材料であってもよいが、セラミックスが最適である。

薄肉部66を構成するセラミックスとしては、例えば、安定化された酸化ジルコニウム、酸化アルミニウム、酸化マグネシウム、酸化チタン、スピネル、ムライト、窒化アルミニウム、窒化硅素、ガラス、これらの混合物等を使用すること
20 ができる。その中でも、酸化アルミニウム及び安定化された酸化ジルコニウムが、強度及び剛性の観点から好ましい。安定化された酸化ジルコニウムは、機械的強度が比較的高いこと、靱性が比較的高いこと、上部電極14及び下部電極16との化学反応が比較的小さいこと等の観点から特に好適である。なお、安定化された酸化ジルコニウムとは、安定化酸化ジルコニウム及び部分安定化酸化ジルコ
25 ニウムを包含する。安定化された酸化ジルコニウムでは、立方晶等の結晶構造をとるため、相転移が生じない。

一方、酸化ジルコニウムは、1000℃前後で単斜晶と正方晶との間を相転移し、このような相転移の際にクラックが発生するおそれがある。安定化された酸化ジルコニウムは、酸化カルシウム、酸化マグネシウム、酸化イットリウム、酸

化スカンジウム、酸化イットルビウム、酸化セリウム、希土類金属の酸化物等の安定剤を、1～30モル%含有する。なお、基板60の機械的強度を向上させるために、安定化剤が酸化イットリウムを含有すると好適である。この場合、酸化イットリウムを、好適には1.5～6モル%、さらに好適には2～4モル%含有し、さらに0.1～5モル%の酸化アルミニウムを含有することが好ましい。

また、結晶相を、立方晶+単斜晶の混合相、正方晶+単斜晶の混合相、立方晶+正方晶+単斜晶の混合相等とすることができるが、その中でも、主たる結晶相を、正方晶又は正方晶+立方晶の混合相としたものが、強度、靱性及び耐久性の観点から最適である。

- 10 基板60をセラミックスから構成した場合、比較的多数の結晶粒が基板60を構成するが、基板60の機械的強度を向上させるためには、結晶粒の平均粒径を、好適には0.05～2 μ mとし、さらに好適には0.1～1 μ mとするとよい。

- 一方、固定部68は、セラミックスからなることが好ましいが、薄肉部66の材料と同一のセラミックスでもよいし、異なってもよい。固定部68を構成するセラミックスとしては、薄肉部66の材料と同様に、例えば、安定化された酸化ジルコニウム、酸化アルミニウム、酸化マグネシウム、酸化チタン、スピネル、ムライト、窒化アルミニウム、窒化珪素、ガラス、これらの混合物等を用いることができる。

- 20 特に、この電子放出素子10Cで用いられる基板60は、酸化ジルコニウムを主成分とする材料、酸化アルミニウムを主成分とする材料、又はこれらの混合物を主成分とする材料等が好適に採用される。その中でも、酸化ジルコニウムを主成分としたものがさらに好ましい。

- 25 なお、焼結助剤として粘土等を加えることもあるが、酸化珪素、酸化ホウ素等のガラス化し易いものが過剰に含まれないように、助剤成分を調節する必要がある。なぜなら、これらのガラス化し易い材料は、基板60とエミッタ部12とを接合させる上で有利ではあるものの、基板60とエミッタ部12との反応を促進し、所定のエミッタ部12の組成を維持することが困難となり、その結果、素子特性を低下させる原因となるからである。

すなわち、基板60中の酸化珪素等は重量比で3%以下、さらに好ましくは1%以下となるように制限することが好ましい。ここで、主成分とは、重量比で50%以上の割合で存在する成分をいう。

- また、前記薄肉部66の厚みとエミッタ部12の厚みは、同次元の厚みであることが好ましい。なぜなら、薄肉部66の厚みが極端にエミッタ部12の厚みより厚くなると(1桁以上異なると)、エミッタ部12の焼成収縮に対して、薄肉部66がその収縮を妨げるように働くため、エミッタ部12と基板60との界面での応力が大きくなり、はがれ易くなる。反対に、厚みの次元が同程度であれば、エミッタ部12の焼成収縮に基板60(薄肉部66)が追従し易くなるため、
- 5 一体化には好適である。具体的には、薄肉部66の厚みは、1~100 μ mであることが好ましく、3~50 μ mがさらに好ましく、5~20 μ mがより一層好ましい。一方、エミッタ部12は、その厚みとして5~100 μ mが好ましく、5~50 μ mがさらに好ましく、5~30 μ mがより一層好ましい。

- そして、基板60上にエミッタ部12を形成する方法としては、スクリーン印刷法、ディッピング法、塗布法、電気泳動法等の各種厚膜形成法や、イオンビーム法、スパッタリング法、真空蒸着法、イオンプレーティング法、化学気相成長法(CVD)、めっき等の各種薄膜形成法を用いることができる。
- 15

- また、電子放出素子10Cの焼成処理としては、基板60上に下部電極16となる材料、エミッタ部12となる材料及び上部電極14となる材料を順次積層してから一体構造として焼成するようにしてもよいし、下部電極16、エミッタ部12、上部電極14をそれぞれ形成するたびに熱処理(焼成処理)して基板60と一体構造にするようにしてもよい。なお、上部電極14及び下部電極16の形成方法によっては、一体化のための熱処理(焼成処理)を必要としない場合もある。
- 20

- 基板60と、エミッタ部12、上部電極14及び下部電極16とを一体化させるための焼成処理に係る温度としては、500~1400 $^{\circ}$ Cの範囲、好適には、1000~1400 $^{\circ}$ Cの範囲とするとよい。さらに、膜状のエミッタ部12を熱処理する場合、高温時にエミッタ部12の組成が不安定にならないように、エミッタ部12の蒸発源と共に雰囲気制御を行いながら焼成処理を行うことが好まし
- 25

い。

また、エミッタ部 12 を適切な部材によって被覆し、エミッタ部 12 の表面が焼成雰囲気と直接露出しないようにして焼成する方法を採用してもよい。この場合、被覆部材としては、基板 60 と同様の材料を用いることが好ましい。

- 5 この第 3 の実施の形態に係る電子放出素子 10 C においては、焼成時においてエミッタ部 12 が収縮することになるが、この収縮時に発生する応力が空所 62 の変形等を通じて開放されることから、エミッタ部 12 を十分に緻密化させることができる。エミッタ部 12 の緻密化が向上することにより、耐電圧が向上すると共に、エミッタ部 12 での分極反転並びに分極変化が効率よく行われることになり、電子放出素子 10 C としての特性が向上することになる。

- 10 上述した第 3 の実施の形態では、基板 60 として 3 層構造の基板を用いたが、その他、図 38 の変形例に係る電子放出素子 10 C a に示すように、最下層の基板層 60 A を省略した 2 層構造の基板 60 a を用いてもよい。

- 15 なお、本発明に係る電子放出素子は、上述の実施の形態に限らず、本発明の要旨を逸脱することなく、種々の構成を採り得ることはもちろんである。

請求の範囲：

1. 誘電体で構成されたエミッタとなる物質と、電子放出のための駆動電圧が印加される第1の電極及び第2の電極とを有し、
 - 5 前記第1の電極は、前記エミッタとなる物質の第1の面に形成され、
前記第2の電極は、前記エミッタとなる物質の第2の面に形成され、
少なくとも前記第1の電極は、前記エミッタとなる物質が露出される複数の貫通部を有し、前記第1の電極のうち、前記貫通部の周部における前記エミッタとなる物質と対向する面が、前記エミッタとなる物質から離間していることを特徴とする電子放出素子。
 - 1.0
2. 請求項1記載の電子放出素子において、
前記エミッタとなる物質の少なくとも前記第1の面は、誘電体の粒界による凹凸が形成され、
 - 1.5 前記第1の電極は、前記誘電体の粒界における凹部に対応した部分に前記貫通部が形成されていることを特徴とする電子放出素子。
3. 請求項1記載の電子放出素子において、
前記エミッタとなる物質の前記第1の面と、前記第1の電極のうち、前記貫通部の周部における前記エミッタとなる物質と対向する面とのなす角の最大角度 θ
 - 2.0 が、 $1^\circ \leq \theta \leq 60^\circ$ であることを特徴とする電子放出素子。
4. 請求項1記載の電子放出素子において、
前記エミッタとなる物質の前記第1の面と、前記第1の電極のうち、前記貫通部の周部における前記エミッタとなる物質と対向する面との間の鉛直方向に沿った最大間隔 d が、 $0\ \mu\text{m} < d \leq 10\ \mu\text{m}$ であることを特徴とする電子放出素子。
 - 2.5
5. 請求項1記載の電子放出素子において、
前記エミッタとなる物質の前記第1の面のうち、前記貫通部と対応する部分に

フロ、 ティング電極が存在していることを特徴とする電子放出素子。

6. 請求項1記載の電子放出素子において、

前記貫通部は、孔であることを特徴とする電子放出素子。

5

7. 請求項6記載の電子放出素子において、

前記孔の平均径が、0.1 μm 以上、10 μm 以下であることを特徴とする電子放出素子。

10 8. 請求項1記載の電子放出素子において、

前記貫通部は、切欠きであることを特徴とする電子放出素子。

9. 請求項8記載の電子放出素子において、

前記貫通部は、くし歯状の切欠きであることを特徴とする電子放出素子。

15

10. 請求項8記載の電子放出素子において、

前記切欠きの平均幅が、0.1 μm 以上、10 μm 以下であることを特徴とする電子放出素子。

20 11. 請求項1記載の電子放出素子において、

前記貫通部は、任意の形状のスリットであることを特徴とする電子放出素子。

12. 請求項11記載の電子放出素子において、

前記スリットの平均幅が、0.1 μm 以上、10 μm 以下であることを特徴とする電子放出素子。

25

13. 誘電体で構成されたエミッタとなる物質と、

前記エミッタとなる物質の第1の面に接するように形成された第1の電極と、

前記エミッタとなる物質の第2の面に接するように形成された第2の電極とを

有し、

少なくとも前記第1の電極は、前記エミッタとなる物質が露出される複数の貫通部を有し、

電氣的な動作において、前記第1の電極と前記第2の電極間に、

5 前記エミッタとなる物質によるコンデンサと、

前記第1の電極に形成された前記複数の貫通部によって前記第1の電極と前記エミッタとなる物質との間に構成される複数のコンデンサの集合体とが形成されることを特徴とする電子放出素子。

10 14. 電子放出部を有する電子放出素子において、

負電圧の印加によって電子の蓄積に伴う正電荷の量と負電荷の量が平衡な状態（第1の状態）に変化し、更なる電子の蓄積に伴って負電荷の量が正電荷の量よりも多い状態（第2の状態）に変化し、

15 前記第2の状態から正電圧の印加によって電子の放出に伴う正電荷の量と負電荷の量が平衡な状態（第3の状態）に変化し、更なる電子の放出に伴って正電荷の量が負電荷の量よりも多い状態に変化する場合に、

前記第1の状態に変化するための印加電圧をV1、前記第3の状態に変化するための印加電圧をV2としたとき、

$$|V1| < |V2|$$

20 の特性を有することを特徴とする電子放出素子。

15. 請求項14記載の電子放出素子において、

$$1.5 \times |V1| < |V2|$$

であることを特徴とする電子放出素子。

25

16. 請求項14記載の電子放出素子において、

第1の状態における正電荷の量と電子の量の変化の割合を $\Delta Q1 / \Delta V1$ 、第3の状態における正電荷の量と電子の量の変化の割合を $\Delta Q2 / \Delta V2$ としたとき、

$$(\Delta Q 1 / \Delta V 1) > (\Delta Q 2 / \Delta V 2)$$

であることを特徴とする電子放出素子。

17. 請求項14記載の電子放出素子において、

- 5 電子が蓄積飽和状態となる電圧をV3、電子の放出が開始される電圧をV4としたとき、

$$1 \leq |V 4| / |V 3| \leq 1.5$$

であることを特徴とする電子放出素子。

- 10 18. 誘電体で構成されたエミッタとなる物質と、電子放出のための駆動電圧が印加される第1の電極及び第2の電極とを有する電子放出素子において、

前記第1の電極と前記第2の電極間に対する一方向への電圧の印加によって、前記エミッタとなる物質が一方向に分極された状態から分極が反転した状態に変化する電圧を第1の抗電圧v1とし、この状態から他方向への電圧の印加によっ

- 15 て分極が再び前記一方向に変化する電圧を第2の抗電圧v2としたとき、

$$v 1 < 0 \text{ 又は } v 2 < 0 \text{ であって、}$$

$$|v 1| < |v 2|$$

の特性を有することを特徴とする電子放出素子。

- 20 19. 請求項18記載の電子放出素子において、

$$1.5 \times |v 1| < |v 2|$$

であることを特徴とする電子放出素子。

20. 請求項18記載の電子放出素子において、

- 25 前記第1の抗電圧を印加した際における分極の変化の割合を $\Delta q 1 / \Delta v 1$ 、前記第2の抗電圧を印加した際における分極の変化の割合を $\Delta q 2 / \Delta v 2$ としたとき、

$$(\Delta q 1 / \Delta v 1) > (\Delta q 2 / \Delta v 2)$$

であることを特徴とする電子放出素子。

21. 請求項18記載の電子放出素子において、

電子が蓄積飽和状態となる電圧を v_3 、電子の放出が開始される電圧を v_4 としたとき、

5
$$1 \leq |v_4| / |v_3| \leq 1.5$$

であることを特徴とする電子放出素子。

要 約

- 電子放出素子は、誘電体で構成されたエミッタ部と、電子放出のための駆動電圧が印加される上部電極及び下部電極とを有し、上部電極は、エミッタ部の上面
- 5 に形成され、下部電極は、エミッタ部の下面に形成され、上部電極は、エミッタ部が露出される複数の貫通部を有し、上部電極のうち、貫通部の周部におけるエミッタ部と対向する面が、エミッタ部から離間している。